

**ITINERARIO RAGUSA-CATANIA**

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 4 - Dallo svincolo n. 8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana"(escluso)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PA898**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI - GDG - ICARIA - OMNISERVICE

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N.Granieri  
Dott. Ing. F.Durastanti  
Dott. Ing. V.Truffini  
Dott. Arch. A.Bracchini  
Dott. Ing. L.Nani

Dott. Ing. M.Abram  
Dott. Ing. F.Pambianco  
Dott. Ing. M.Briganti Botta  
Dott. Ing. L.Gagliardini  
Dott. Geol. G.Cerquiglini

MANDANTI:



Dott. Ing. G.Guiducci  
Dott. Ing. A.Signorelli  
Dott. Ing. E.Moscatelli  
Dott. Ing. A.Bela

Dott. Ing. G.Lucibello  
Dott. Arch. G.Guastella  
Dott. Geol. M.Leonardi  
Dott. Ing. G.Parente



Dott. Arch. E.A.E.Crimi  
Dott. Ing. M.Panfilì  
Dott. Arch. P.Ghirelli  
Dott. Ing. D.Pelle

Dott. Ing. L.Ragnacci  
Dott. Arch. A.Strati  
Archeol. M.G.Liseno



Dott. Ing. D.Carlaccini  
Dott. Ing. S.Sacconi  
Dott. Ing. C.Consorti

Dott. Ing. F.Aloe  
Dott. Ing. A.Salvemini



Dott. Ing. V.Rotisciani  
Dott. Ing. G.Pulli  
Dott. Ing. F.Macchioni

Dott. Ing. G.Verini Supplizi  
Dott. Ing. V.Piunno  
Geom. C.Sugaroni



Dott. Ing. P.Agnello

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



**GEOTECNICA**

**Relazione interventi di stabilizzazione tratti in frana**

CODICE PROGETTO			NOME FILE			REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T04GE00GETRE02A				
L0408Z	E	2101	CODICE ELAB. T04GE00GETRE02			A	-
A	Emissione		Giu 2021	S.Sacconi	D. Carlaccini	N.Granieri	
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

---

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

INDICE

1	PREMESSA .....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
3	DESCRIZIONE DEL DISSESTO: RICOSTRUZIONE CINEMATICA ED IDRAULICA FRANA L4_1 ..	4
4	ANALISI A RITROSO ( <i>BACK ANALYSIS</i> ).....	9
4.1	SEZIONE 3 – SETTORE 1 .....	10
4.2	SEZIONE 6 – SETTORE 3 .....	11
4.3	SEZIONE 2 –SETTORE 4 .....	12
4.4	SINTESI DELLE <i>BACK ANALYSIS</i> .....	13
5	MODELLO GEOTECNICO .....	14
6	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE .....	15
7	VERIFICHE DI STABILITA' .....	18
7.1	CRITERIO DI VERIFICA.....	18
7.2	ANALISI NUMERICHE IN PRESENZA DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE.....	19
7.3	SEZIONE 3– SETTORE 1 .....	19
7.4	SEZIONE 6 – SETTORE 3 .....	22
7.5	SEZIONE 2 –SETTORE 4 .....	25
7.6	SINTESI DELLE ANALISI DI STABILITÀ .....	28
8	MONITORAGGIO.....	29
9	APPENDICE .....	31
9.1	OUTPUT DI CALCOLO - <i>BACK ANALYSIS</i> .....	31
9.2	OUTPUT DI CALCOLO –ANALISI DI STABILITÀ POST INTERVENTO .....	39

## 1 PREMESSA

Nel presente elaborato vengono riportate le verifiche di stabilità del corpo di frana L4\_1 del Lotto 4 (ex lotti 7 e 8) che interferisce con il collegamento autostradale Ragusa-Catania, nell'ambito della progettazione esecutiva dell'opera in oggetto, e con la strada secondaria Sec90.

La frana L4\_1 è ubicata presso l'esistente svincolo nord della S.S.194 per Francofonte tra le pk km. 3+160 ÷ 3+400 asse destro. Per la stabilizzazione del tratto sono previsti interventi di regimazione delle acque e abbattimento delle pressioni interstiziali mediante trincee drenanti profonde e la piantumazione di specie erbacee a radicazione profonda.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- D.M. 14/01/2018 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le Costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n. 29 – Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008).
- Circolare n.617 del 02.02.200 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008".
- D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n. 42 – Suppl. Ordinario n. 8 – del 20 febbraio 2018).
- Circolare 21/01/2019 "Istruzione C.S.LL.PP. per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/03/1988 – "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/09/1988 – D.M. 11.3.88. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

### 3 DESCRIZIONE DEL DISSESTO: RICOSTRUZIONE CINEMATICA ED IDRAULICA FRANA L4\_1

La frana L4\_1 è ubicata presso l'esistente svincolo nord della S.S.194 per Francofonte tra le pk 3+160 ÷ 3+400 asse destro.

La frana interessa i termini calcarenitici poco cementati quaternari (Qc(a)) ricoperti da spessori variabili della coltre eluvio-colluviale (ec) (per maggiori dettagli si rimanda al profilo geologico di progetto). Dal punto di vista morfologico, il versante si presenta con una bassa acclività ed è stato terrazzato in più settori per consentire lo sviluppo della coltivazione di agrumi.

La frana mostra periodiche riattivazioni in concomitanza con eventi meteorici, soprattutto se intensi, creandosi le condizioni per cui il terreno tende a saturarsi. Le acque meteoriche dilavanti esercitano anche un'azione erosiva superficiale.

Come si può osservare dalla planimetria della Figura 1, nell'area in questione è presente un impluvio naturale (fosso), costituito da due rami che si ricongiungono a formare quasi una Y in pianta (cfr. linea di colore celeste in Figura 1). Accanto a questo impluvio la morfologia è tale che si riconosce una "valle" con 4 scarpate naturali ciascuna con la propria immersione e inclinazione. Ciascuna di queste scarpate rappresenta un "settore" in cui è stato diviso il dissesto in esame (cfr. nomi indicati in Figura 1). La pendenza del piano campagna in ogni settore può essere considerata pressoché costante e compresa tra 4° e 10° circa (settore 1 inclinazione 8°, settore 2 inclinazione 4°, settore 3 inclinazione 8°, settore 4 inclinazione 10°).

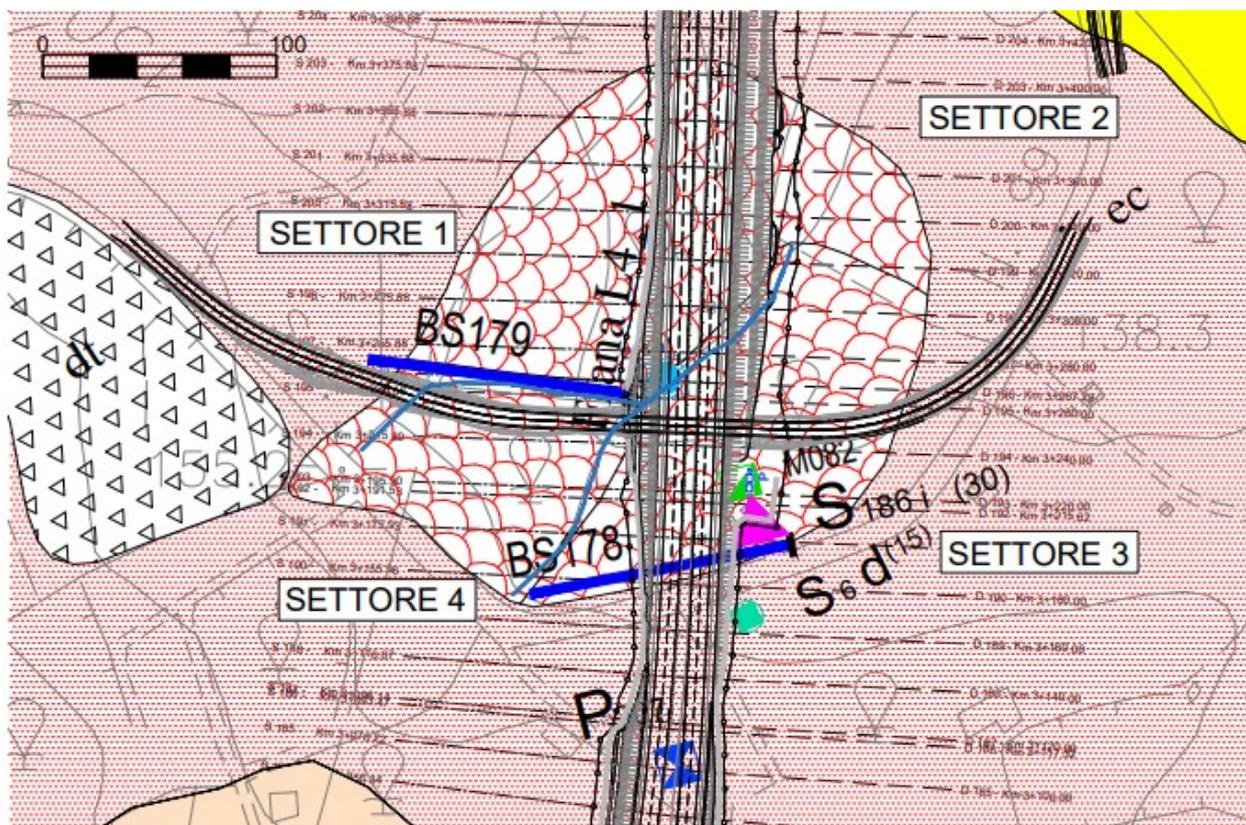
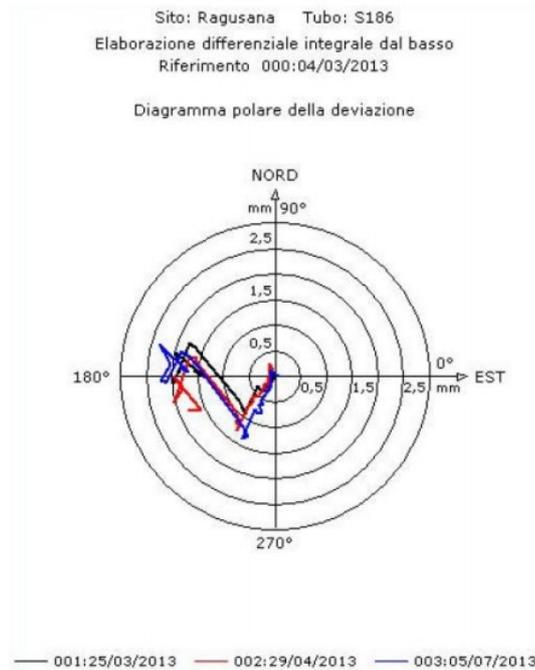


Figura 1. Stralcio planimetrico della carta geologica in corrispondenza della frana L4\_1 con ubicazione delle indagini eseguite.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

Nell'area in esame è stato realizzato il sondaggio S186i e due stendimenti sismici a rifrazione in onde  $p$  denominati BS178 e BS179 (cfr. Figura 1). Dalla colonna stratigrafica del sondaggio S186i si può riconoscere uno spessore di 4-5 m di materiale superficiale alterato. Il sondaggio è stato anche attrezzato con un inclinometro, le cui misure disponibili (arco temporale di 4 mesi, da marzo a luglio 2013) non sono tuttavia significative. Infatti, come si può notare dalla Figura 2, gli spostamenti differenziali e cumulati misurati sono decisamente modesti, e la direzione del movimento risulta essere all'incirca ortogonale alla direzione di massima pendenza del versante in esame. Tutto ciò conferma che le misure eseguite non sono ancora significative.



**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

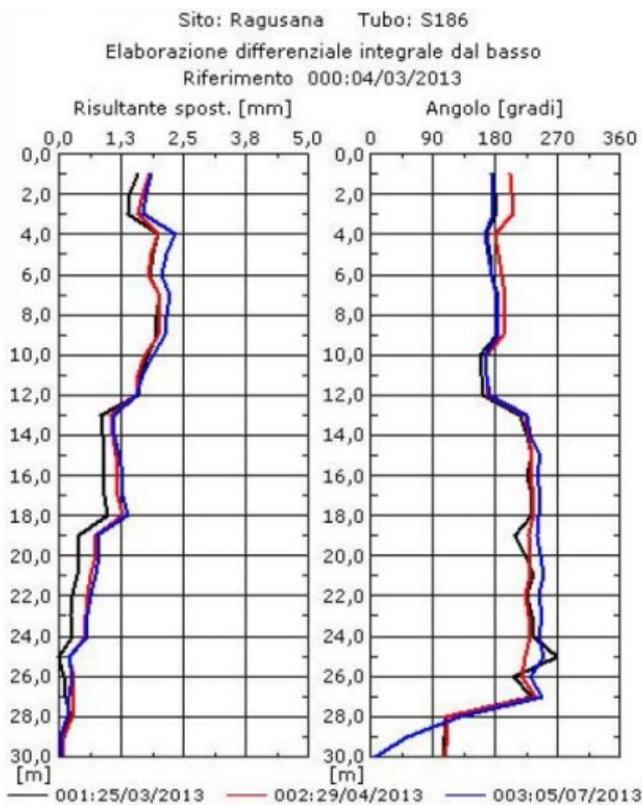
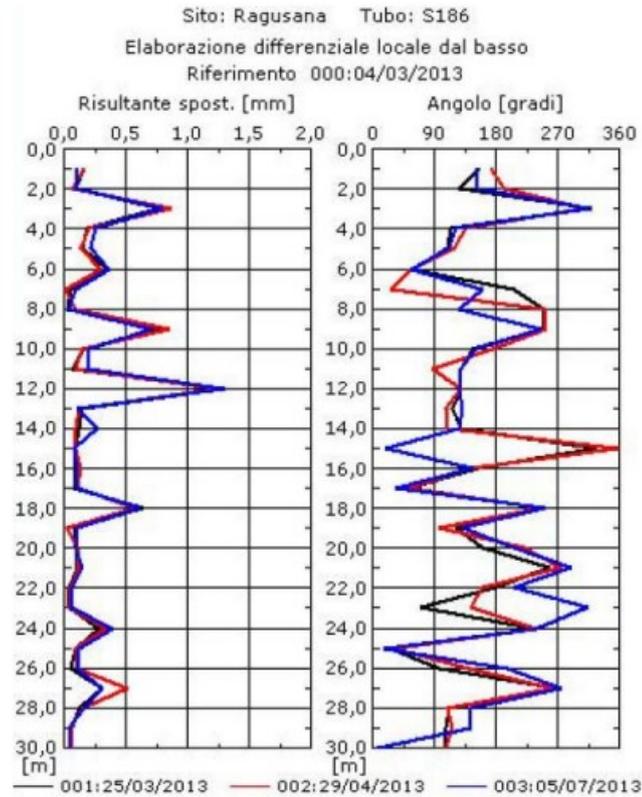


Figura 2. Misure inclinometriche: S186i.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

Dal rilievo di campagna eseguito in fase di progettazione esecutiva è stato possibile individuare per ogni settore la nicchia di distacco, il piede e in generale l'intero perimetro del dissesto. Evidenti, infatti, sono le lesioni che hanno danneggiato il manto della strada SP99 che in parte lambisce il dissesto stesso.

Lo spessore del dissesto è stato stimato sia sulla base delle risultanze della colonna stratigrafica del sondaggio S186i (che, come detto sopra, mostra fino a 4 m circa materiale alterato rispetto a quello sottostante), sia sulla base della geometria in gioco (estensione della frana, pendenza media del piano campagna). Globalmente si può dire che lo spessore massimo è dell'ordine di 4-5 m nei settori che presentano maggiore pendenza del piano campagna e maggiore estensione del dissesto (settori 1, 3 e 4), e dell'ordine di 1.5 m nei settori dove l'inclinazione del piano campagna è più bassa e l'estensione della frana limitata (settor 2).

La frana è classificata come un colamento. La lunghezza complessiva del dissesto in asse tracciato principale è di circa 300 m, con larghezza di circa 210 m.

La falda non è stata direttamente rilevata in questa area, non essendoci strumentazioni piezometriche installate. Tuttavia, l'evidenza mostra che in corrispondenza di eventi meteorici sulla strada e nelle zone circostanti è visibile molta acqua in superficie, assente invece in condizioni *standard*.

A seguire per ogni settore si riportano le sezioni con la ricostruzione della superficie di scorrimento ottenuta secondo le indicazioni di cui sopra.

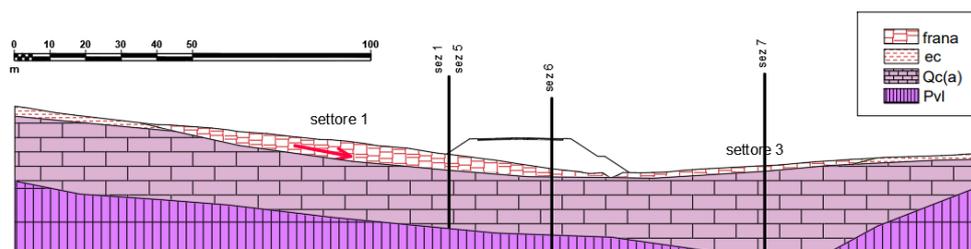


Figura 3. Sezione geologica 3\_Settore 1.

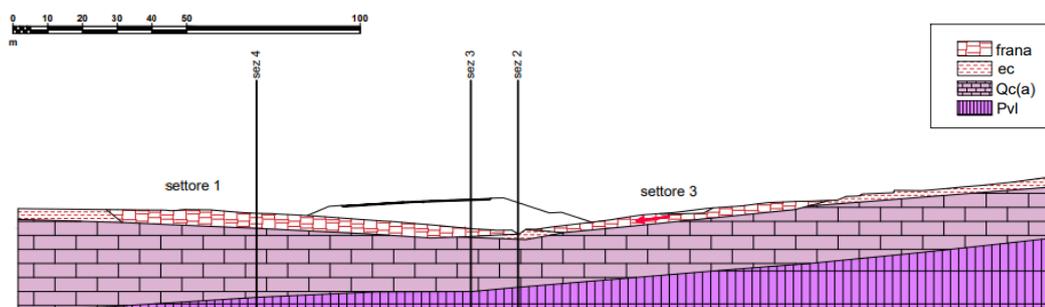
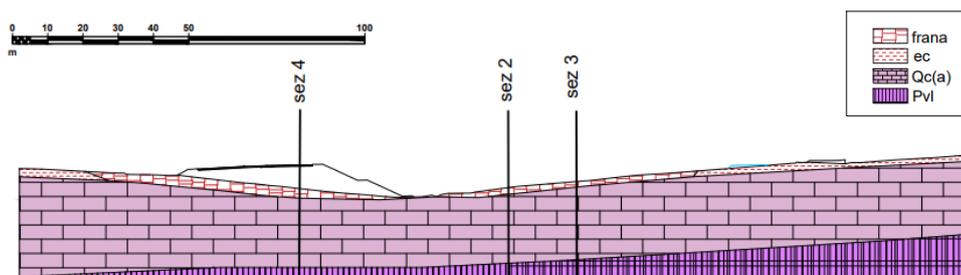


Figura 4. Sezione geologica 6\_Settore 3.



**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

Figura 5. Sezione geologica 7\_Settore 3.

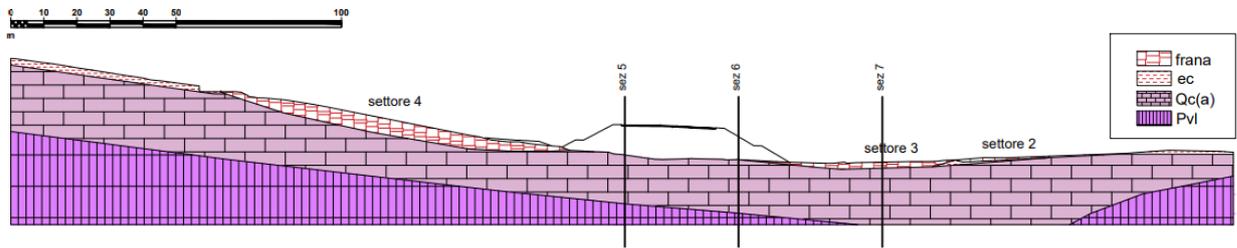


Figura 6. Sezione geologica 2\_Settore 4.

## 4 ANALISI A RITROSO (BACK ANALYSIS)

Le analisi di stabilità per la ricostruzione del fenomeno sono state eseguite nell'ipotesi di problema piano con i tradizionali metodi dell'equilibrio limite globale, schematizzando il terreno come un mezzo rigido-plastico e adottando il criterio di rottura di *Mohr-Coulomb*. Le analisi sono state eseguite con il metodo delle strisce, nel quale la porzione di terreno delimitato dalla generica superficie di scorrimento e dalla superficie topografica è suddivisa in un certo numero di conci in modo da valutare, seppur in modo approssimato e discreto, la distribuzione della tensione efficace normale e della corrispondente resistenza a taglio lungo la superficie di scorrimento; in dettaglio, si è utilizzato il metodo di *Bishop* (1955). Tutte le analisi sono state effettuate con il codice di calcolo numerico Slide, distribuito dalla *RocScience*.

Le analisi sono state effettuate in condizioni drenate (parametri definiti in tensioni efficaci).

Le verifiche di stabilità del corpo di frana sono state eseguite prendendo 3 sezioni rappresentative, per tre dei quattro settori identificati, lungo le linee di massima pendenza per le condizioni di azioni e carichi esterni più sfavorevoli.

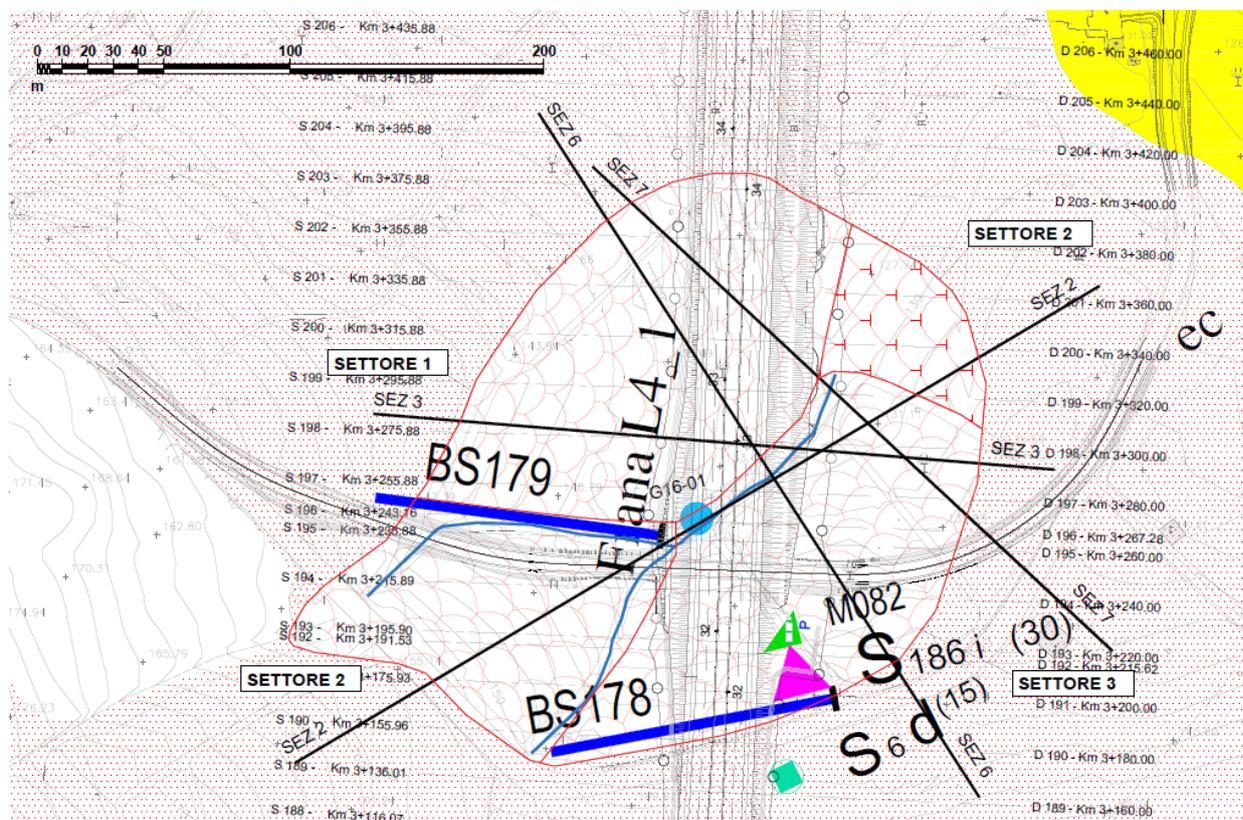


Figura 7. Stralci della planimetria della frana in cui si riporta la suddivisione dell'area in frana in settori e l'ubicazione delle sezioni di studio.

Le sezioni analizzate sono le seguenti:

- Sezione 3 – identificativa del settore 1;
- Sezione 6 - identificativa del settore del settore 3;
- Sezione 2 – identificativa del settore 4.

Lo studio di stabilità del settore 2 viene omesso poiché la frana ha una estensione in pianta limitata e inclinazione del piano campagna quasi orizzontale, tale che lo spessore del dissesto risulta modestissimo

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

(1.5 m, cfr. Figura 6) e, tra l'altro, non interagisce direttamente con il rilevato stradale. In tale settore, pertanto, si procederà semplicemente con la piantumazione delle piante a radicazione profonda.

Vista l'inclinazione media dei versanti in ciascun settore (al più pari a 10°), in considerazione che il movimento si attiva a seguito di precipitazioni, e tenendo conto che dopo eventi meteorici l'acqua si vede sgorgare in più punti a piano campagna (cfr. anche immagini da satellite - Google Earth - dove è possibile notare acqua dilavante sul pendio e sul piano viario), le tre analisi a ritroso sono state eseguite considerando la falda a piano campagna.

Le analisi a ritroso sono state eseguite ricercando il valore dell'angolo d'attrito operativo,  $\varphi'_{op}$ , per il quale lungo la superficie di scorrimento ricostruita si ha un coefficiente di sicurezza,  $FS$ , pari a 1.

#### 4.1 SEZIONE 3 – SETTORE 1

La sezione in esame, per la configurazione di falda a p.c., fornisce un valore dell'angolo d'attrito operativo pari a 17.5°, compatibilmente con la morfologia del pendio che presenta una pendenza molto dolce, prossima a 8°.

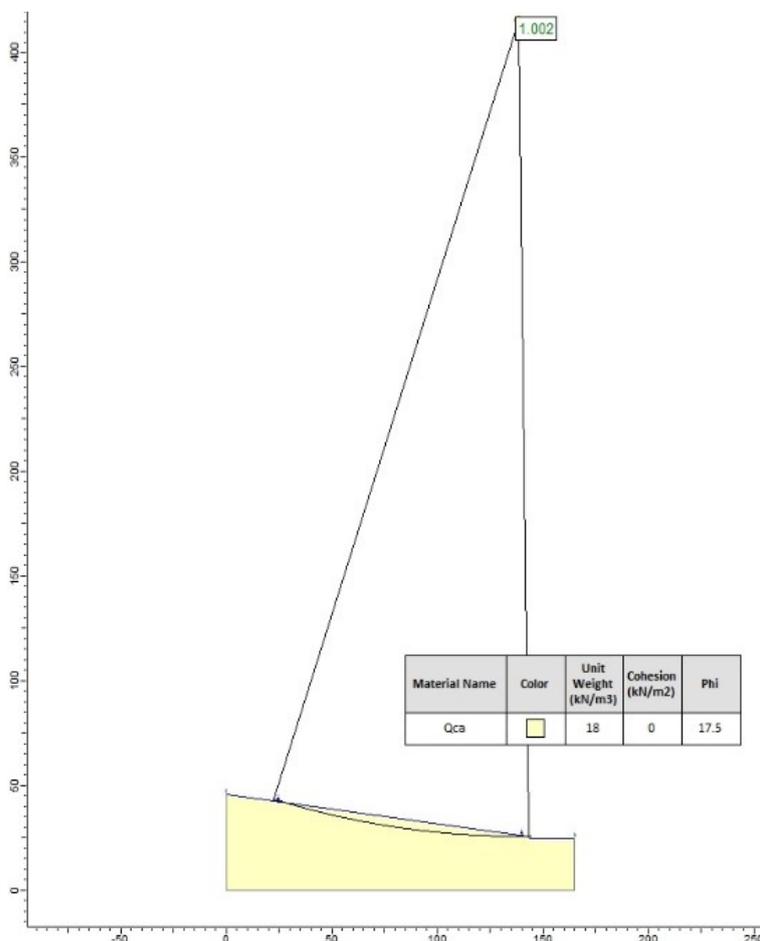


Figura 8 si riporta il modello di calcolo utilizzato e l'output grafico dell'analisi di stabilità.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

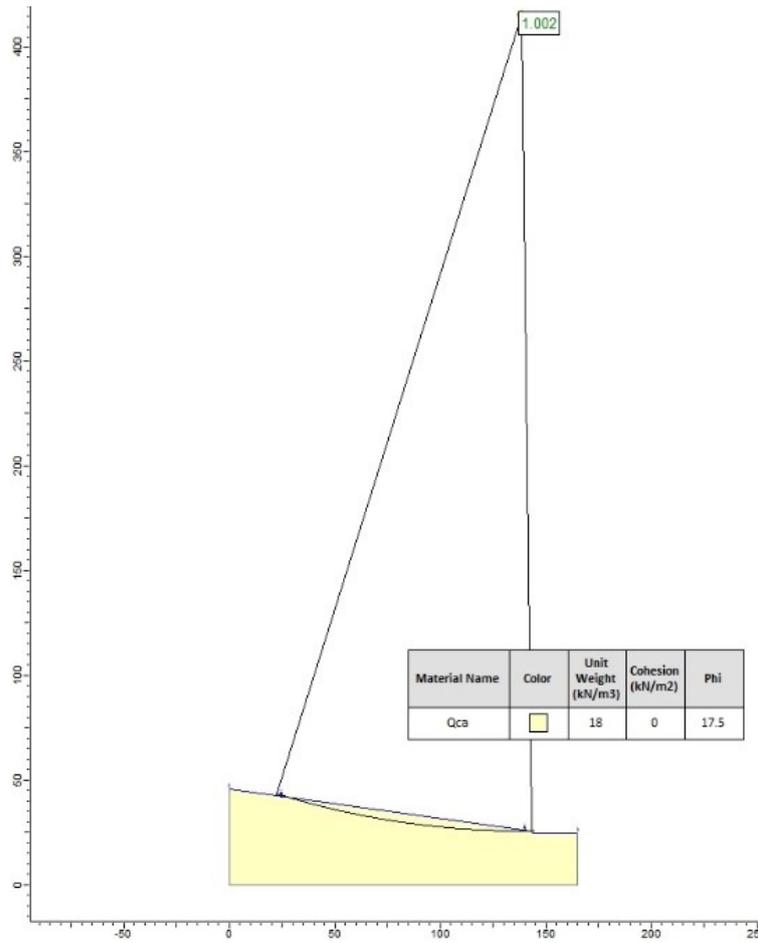


Figura 8. Back analysis\_Settore 1.

**4.2 SEZIONE 6 – SETTORE 3**

La sezione 6, per la condizione di falda a p.c, presenta un valore dell'angolo d'attrito operativo pari a 17.7° (Figura 9). Il pendio, in tale configurazione ha una pendenza media di 8°.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

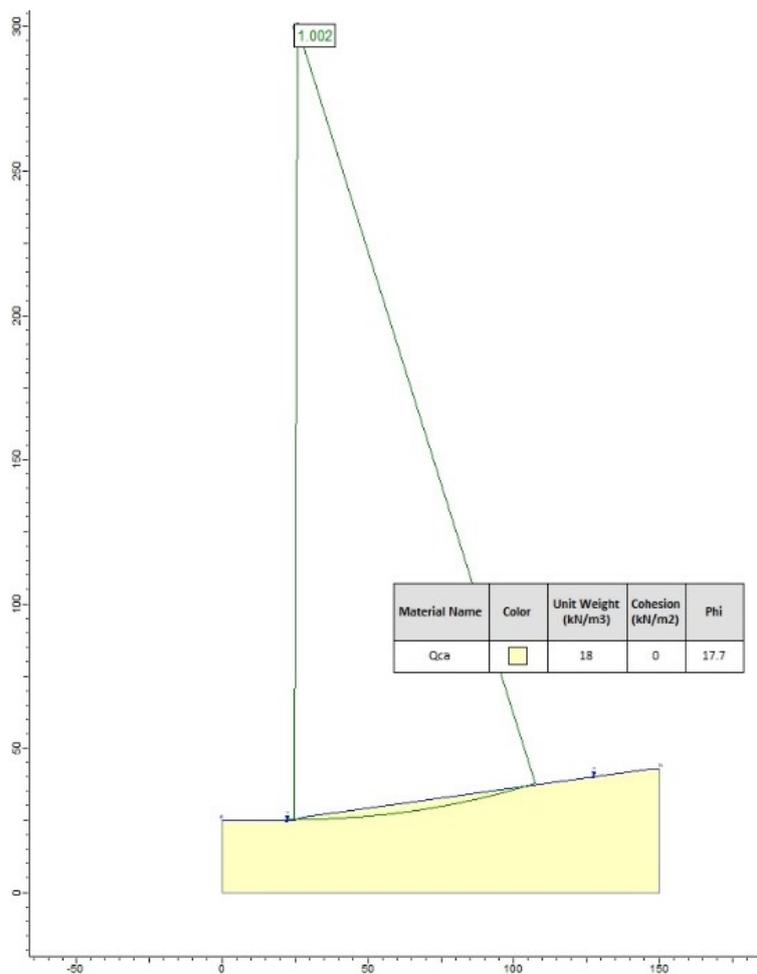


Figura 9. Back analysis\_Settore 3.

**4.3 SEZIONE 2 –SETTORE 4**

La sezione 2, per falda a p.c., presenta un valore dell'angolo d'attrito operativo pari a 21.7°. In tale sezione, il pendio assume una pendenza media di 10°.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

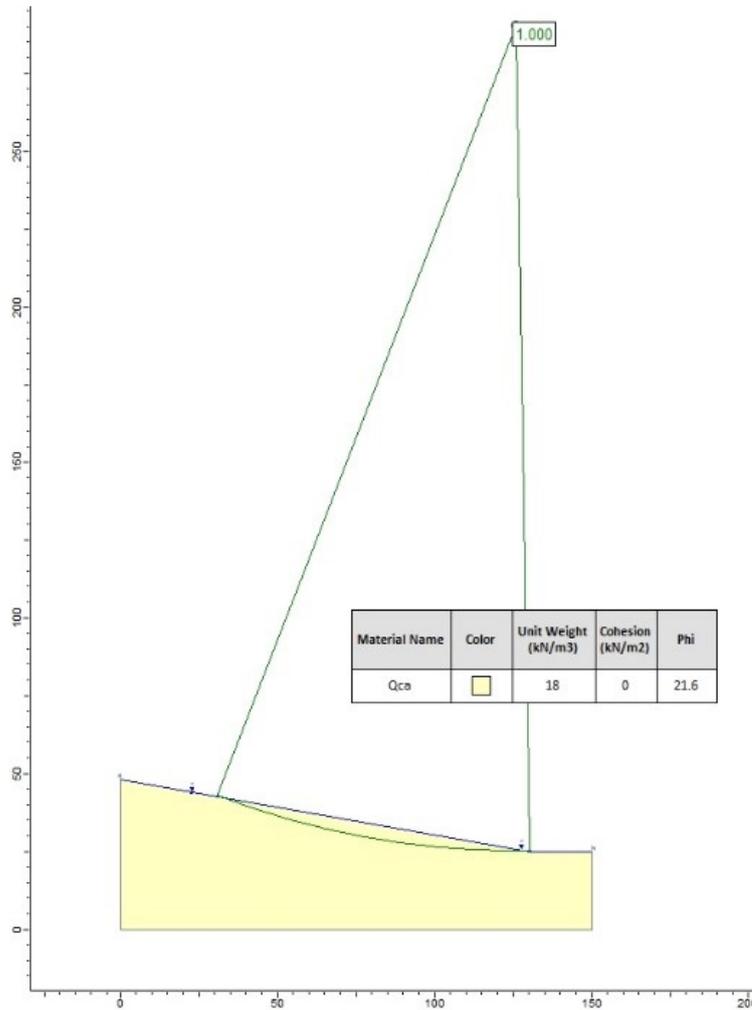


Figura 10. Back analysis\_Settore 4.

**4.4 SINTESI DELLE BACK ANALYSIS**

Si riporta una tabella di sintesi dei risultati delle analisi eseguite.

Tabella 1: Angolo d'attrito operativo ottenuto da back analysis.

Settore	inclinazione del piano campagna $\beta$ (°)	$\phi'_{op}$ (°)
1	8	17.5
3	8	17.7
4	10	21.6

## 5 MODELLO GEOTECNICO

Il corpo di frana interessa la formazione  $Qc(a)$ , costituita da calcareniti e sabbia. Nella tabella seguente è riportata la sintesi del modello geotecnico ottenuto dall'interpretazione di tutte le prove disponibili, valido per le zone in cui questo litotipo non è interessato da dissesti (per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica generale, elaborato T04GE00GETRE01A).

Tabella 2: Modello geotecnico litotipo  $Qc(a)$  nei tratti in cui non è interessato da dissesti.

unità geologica	z (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)
Qc (a) Calcareniti e sabbie	0 ÷ 10	17.5 ÷ 18.5	0	38 ÷ 42	50
	10 ÷ 25				80 ÷ 100
	>25				800

L'angolo d'attrito operativo lungo la superficie di scorrimento è stato definito mediante l'analisi a ritroso (cfr. Capitolo 4) e risulta compreso tra 17.5 e 21.7°, valori compatibili con la tipologia di materiale in questione e con l'unica prova di taglio residuo eseguita per tale unità che fornisce un valore di circa 18.4° (vedi prova effettuata sul campione CI1 del sondaggio S186i prelevato a 2.5 m circa da piano campagna).

## 6 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE

Per stabilizzare il corpo di frana è previsto un intervento costituito da pareti drenanti profonde, realizzate mediante la tecnologia dei pali gobbi, ubicate all'incirca lungo il perimetro dell'area in frana, ovvero in posizione sommitale rispetto alla morfologia dei versanti in dissesto. Le pareti drenanti hanno il compito di intercettare le acque provenienti da monte del pendio, evitando che il corpo di frana si saturi. Ciò consente di ridurre la pressione interstiziale sulle superfici di scorrimento, aumentando così la resistenza disponibile e, quindi, il coefficiente di sicurezza. Le pareti drenanti saranno, poi, convogliate verso il fosso presente a valle prolungando ciascuna parete stessa con rami che corrono longitudinalmente al pendio, pressappoco lungo la linea di massima pendenza; anche questi rami di recapito sono realizzati con la medesima tecnologia dei pali gobbi (almeno fino ad altezze maggiori di 5 m; da 5 m a 0 vengono adottate delle classiche trincee a sezione rettangolare).

A protezione dall'erosione del terreno, nelle aree non interessate dalla coltivazione degli agrumeti, si è scelto di utilizzare una tipologia di intervento che prevede l'idrosemina con specie erbacee a radicazione profonda.

Sul piano di posa del rilevato del tracciato principale, inoltre, sarà realizzata una bonifica di spessore pari a 3 m, tale da eliminare in gran parte il materiale allentato della formazione del Qc(a).

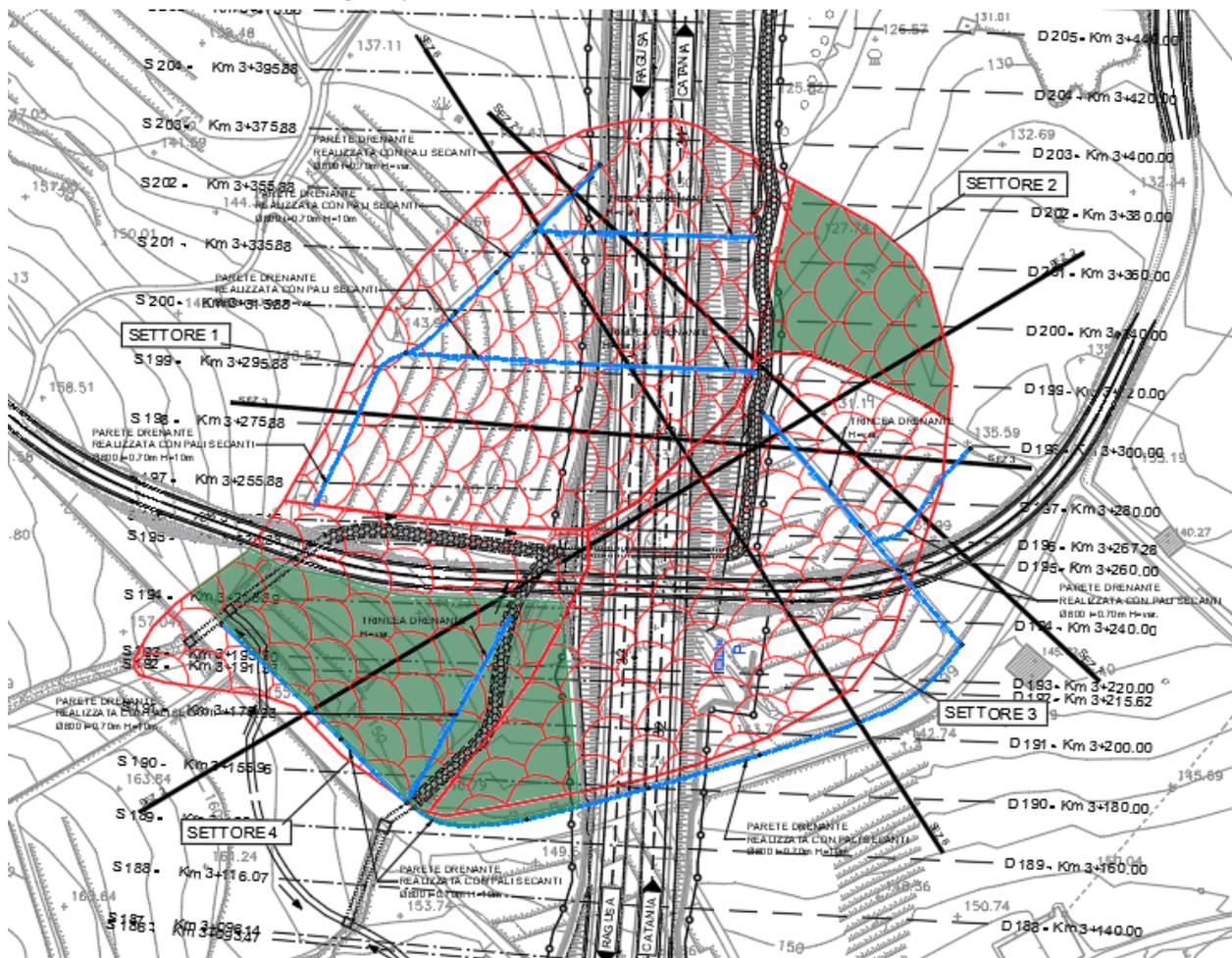


Figura 11: Planimetria con ubicazione degli interventi previsti (trincee drenanti indicate in celeste).

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

Il sistema drenante, nei tre settori principali, è stato concepito in modo tale da non occupare gli spazi utilizzati per le colture presenti; difatti le pareti drenanti saranno posizionate lungo le strade che perimetrano il corpo di frana, a monte delle aree coltivate. Nel dettaglio, le pareti drenanti avranno generalmente lunghezza pari a  $L=10$  m e si muovono parallelamente alle curve di livello, mentre nella parte più settentrionale del settore 1 e del settore 3, essendo le pendenze più dolci e i volumi di frana coinvolti minori, i pali gobbi avranno lunghezza ridotta, fino ad un minimo di  $L=5$  m, così da essere anche facilmente convogliate nei punti di scolo previsti.

Le pareti drenanti seguono delle fasi costruttive sequenziali riportate nell'Elab. "Planimetria di intervento e sezioni tipo" del lotto 4. La tecnologia di esecuzione prevede la realizzazione di pali secanti con perforazione a rotazione o rotopercolazione con apposito *bucket*. A seguito della perforazione viene inserito nel foro un rivestimento con tubo in ferro che presenta una rientranza (tubo gobbo) che permette di formare un aggancio tra pali contigui al fine di avere una secanza per mantenere la continuità del corpo drenante. Dal punto di vista operativo, se si considerano tre pali contigui  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  (Figura 12), le fasi costruttive prevedono dapprima lo scavo del palo  $\alpha$ , la posa in opera del tubo gobbo e il riempimento successivo del palo; tale sequenza viene poi ripetuta anche sul palo  $\beta$  a compimento del palo  $\alpha$ . A completamento del primo e del secondo palo si procede all'estrazione del tubo gobbo del palo  $\alpha$  e allo scavo del palo  $\gamma$ , che segue le medesime fasi costruttive.

Il riempimento del foro è costituito da materiale drenante introdotto mediante tubo getto a fondo foro e risalita graduale, avvolto da una calza in geotessile sostenuta dall'armatura minima di sostegno dello scavo. La parte sommitale invece è costituita da argilla costipata e terreno naturale per uno spessore di 1 m.

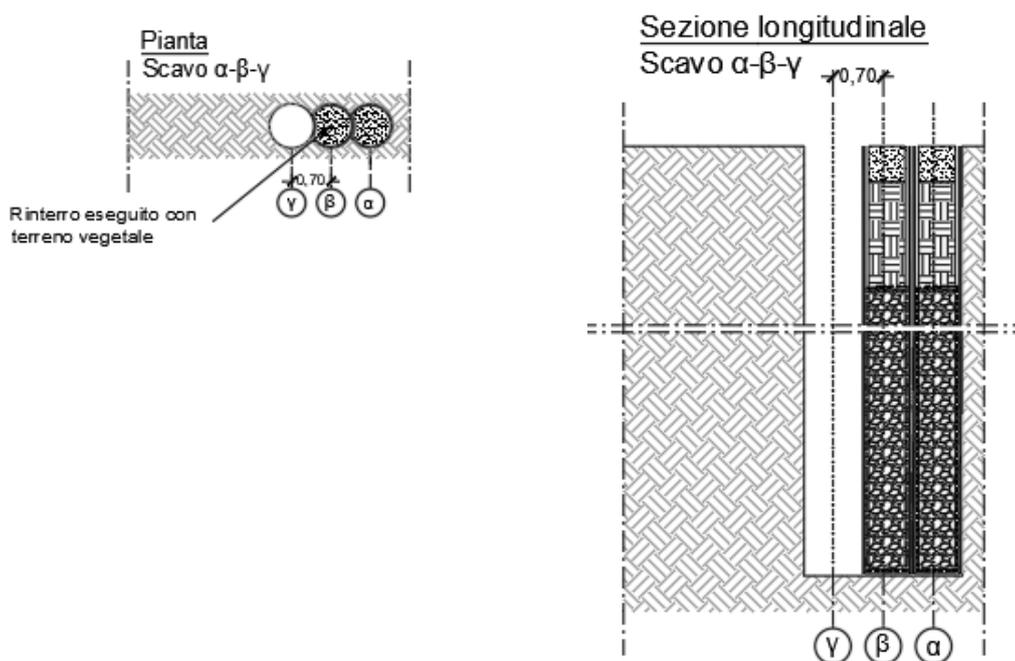


Figura 12. Fasi esecutive pali gobbi.

In Figura 13 si riporta una sviluppata e una sezione longitudinale tipo di intervento.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

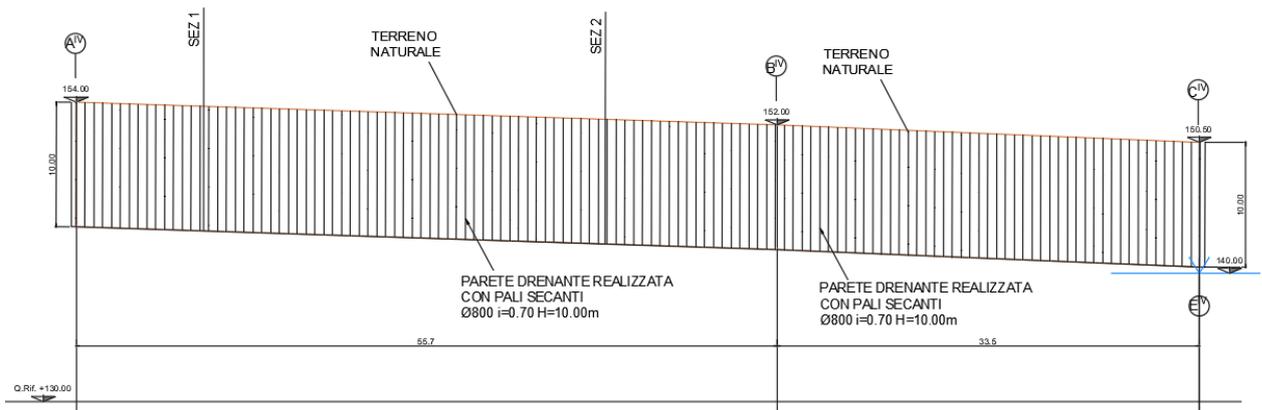


Figura 13. Sviluppo paratia drenante\_settore 4.

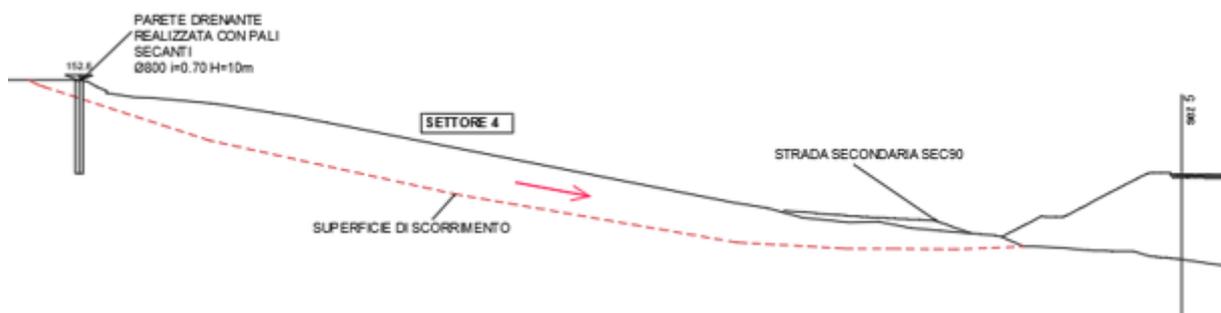


Figura 14. Sezione trasversale tipo\_settore 4.

In sintesi, l'intervento di stabilizzazione, ha lo scopo, quindi, di abbattere il regime delle pressioni interstiziali lungo la superficie di scorrimento e di evitare la saturazione dei terreni, causa del dissesto avvenuto, tale da arrivare ad avere gli opportuni coefficienti di sicurezza sia in condizioni statiche, sia in condizioni sismiche.

## 7 VERIFICHE DI STABILITA'

### 7.1 CRITERIO DI VERIFICA

In aderenza alle prescrizioni della normativa "Norme Tecniche delle costruzioni" del 14/01/2008 [NTC08], la valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile ( $\tau_f$ ) e la tensione di taglio agente ( $\tau$ ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici congruenti con i caratteri del cinematisma atteso o accertato (parametri da analisi a ritroso), sia le azioni presi con il loro valore caratteristico.

L'adeguatezza del margine di sicurezza raggiunto per effetto degli interventi di stabilizzazione deve essere giustificato dal progettista. Nello specifico, nel caso in esame si è scelto di dimensionare gli interventi di stabilizzazione in modo tale da avere un coefficiente di sicurezza almeno pari a  $FS=1.05$  in condizioni sismiche e 1.2 in condizioni statiche.

Le analisi in presenza di sisma possono essere effettuate adottando il metodo pseudo-statico, in cui l'azione sismica è rappresentata da una azione statica equivalente proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno instabile; le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono esprimersi come  $F_h=k_h W$  e  $F_v=k_v W$ , dove il coefficiente  $k_h$  è legato all'accelerazione di picco dalla relazione:

$$k_h = \beta \cdot \frac{a_{max}}{g} = \beta \frac{S_s \cdot S_T \cdot a_g}{g} \quad k_v = \pm 0.5 k_h$$

con

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento;
- $\beta$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- $S_s$  = coefficiente che tiene conto della amplificazione stratigrafica;
- $S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è assunto pari a:

$\beta = 0.28$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV);

Nella tabella seguente si riportano i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica, definite per il sito di riferimento e per la specifica tipologia di opera:

Tabella 3 \_ Riepilogo grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica.

Vita Nominale $V_N$	Classe d'uso	CU	$V_R$	$a_g/g$	Cat. sottosuolo	$S_T$	$F_0$	$S_s$	$a_{max}/g$	$\beta$	$k_h$	$k_v$
[anni]	[-]	[-]	[anni]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
50	IV	2	100							0.28	0.123	$\pm 0.0615$

## 7.2 ANALISI NUMERICHE IN PRESENZA DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

Nel presente capitolo si riportano gli esiti delle verifiche di stabilità eseguite sulla superficie di scorrimento in presenza degli interventi di stabilizzazione. Il contributo stabilizzante è offerto dalla riduzione del carico idraulico dovuto alla presenza del drenaggio.

In dettaglio, l'abbassamento della falda, conseguentemente all'installazione delle pareti drenanti, è stata valutata con analisi di filtrazione in regime stazionario mediante il programma di calcolo agli elementi finiti *Slide*. La porzione di *mesh* è stata suddivisa con elementi finiti a tre nodi, il palo drenante è stato simulato come un elemento a pressione interstiziale nulla.

La lunghezza dei pali è stata identificata in funzione dell'abbassamento della falda in modo da garantire un FS di 1.05 in condizioni sismiche, con la limitazione che, per fatti geometrici di quote, in ogni settore, i pali non potevano superare una certa lunghezza per poter consentire il recapito nei punti di scolo prescritti.

Considerate le cause che attivano il dissesto (eventi meteorici), le analisi di stabilità in presenza degli interventi di stabilizzazione sono state condotte in condizioni statiche considerando l'effetto della parete drenante a partire dalla condizione di falda a piano campagna; in condizioni sismiche, invece, tenendo conto della bassa probabilità di contemporaneità con eventi meteorici, le analisi di stabilità sono state condotte considerando l'effetto della parete drenante a partire dalla condizione di falda posta qualche metro sotto il piano campagna (circa 3 m).

Inoltre, a vantaggio di sicurezza nelle analisi di stabilità l'intervento di bonifica del piano di appoggio del rilevato non è stato considerato.

## 7.3 SEZIONE 3- SETTORE 1

Nel settore 1 si prevede un allineamento costituito da pareti drenanti profonde immediatamente a valle della perimetrazione del corpo di frana, di lunghezza  $L=10$  m, ubicato lungo la stradina esistente. La verifica è stata svolta in corrispondenza della sezione 3, ma l'intervento di stabilizzazione è stato posto, rispetto al ciglio della frana, ad una distanza media a valle di 17 m, in modo da fornire un'analisi rappresentativa dell'intero settore. Difatti, la strada sulla quale verrà realizzato l'intervento, rispetto al ciglio della frana, presenta una distanza pressoché costante nel primo tratto (tratto A'-B'), pari a 10 m, mentre se ne allontana nel tratto finale (tratto B' - E') seguendo le curve di livello del terreno, arrivando a 24 m circa (cfr. Figura 15). Nell'ultimo tratto E'- G' la parete drenante raggiunge una profondità minima di 5 m, che rappresenta la lunghezza minima necessaria per consentire il recapito delle acque verso il fosso di valle.

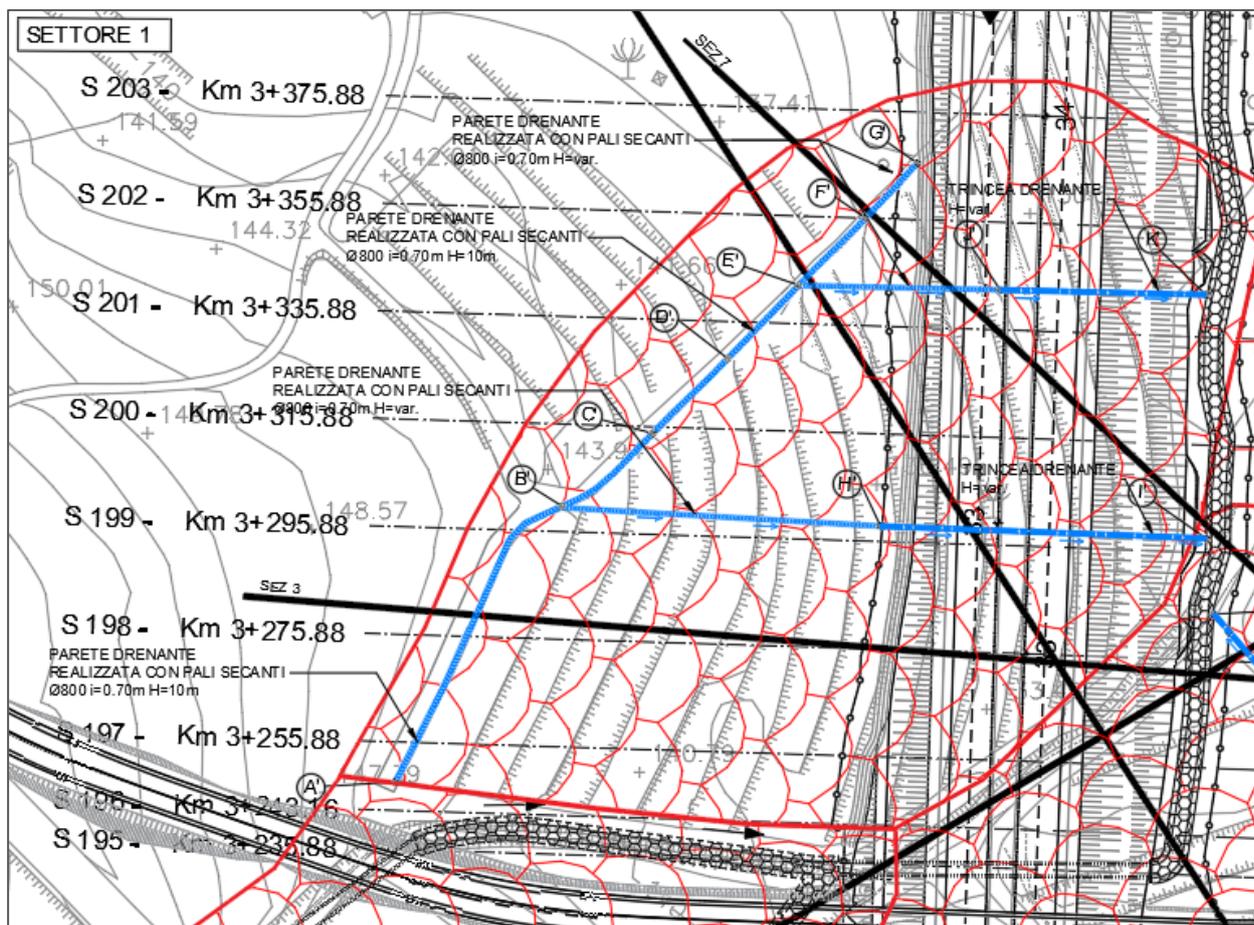


Figura 15. Stralcio della planimetria di intervento\_Settore 1.

Nelle analisi è stato tenuto in conto l'effetto stabilizzante offerto dalla realizzazione del rilevato dell'asse principale, posizionato nella zona si piede della frana.

A causa dei limiti imposti dal programma di calcolo in uso nella modellazione del pendio, il rilevato stradale viene troncato prima del punto di affioramento della superficie di scorrimento (in modo tale che la superficie di scorrimento non coinvolga il rilevato di nuova realizzazione). Tale configurazione non pregiudica la bontà dei risultati delle analisi svolte poiché la presenza del rilevato a valle della superficie di scorrimento non contribuisce all'effetto stabilizzante offerto dal peso del rilevato.

Di seguito si riportano gli *output* di calcolo delle verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

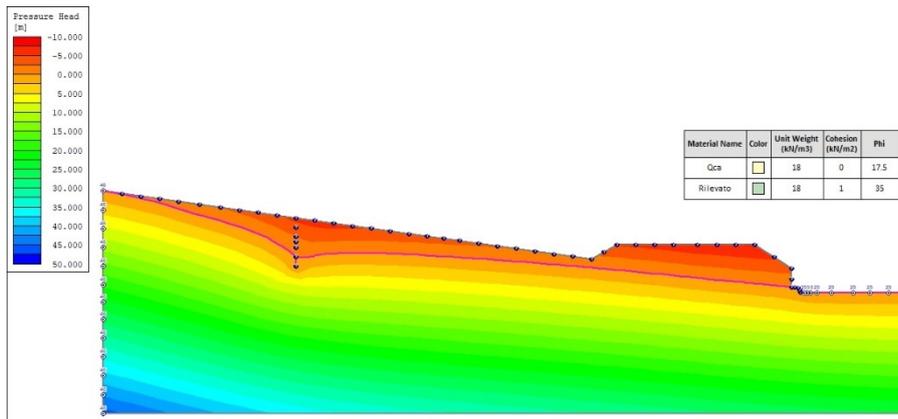


Figura 16. Output analisi di filtrazione\_caso statico\_Settore 1.

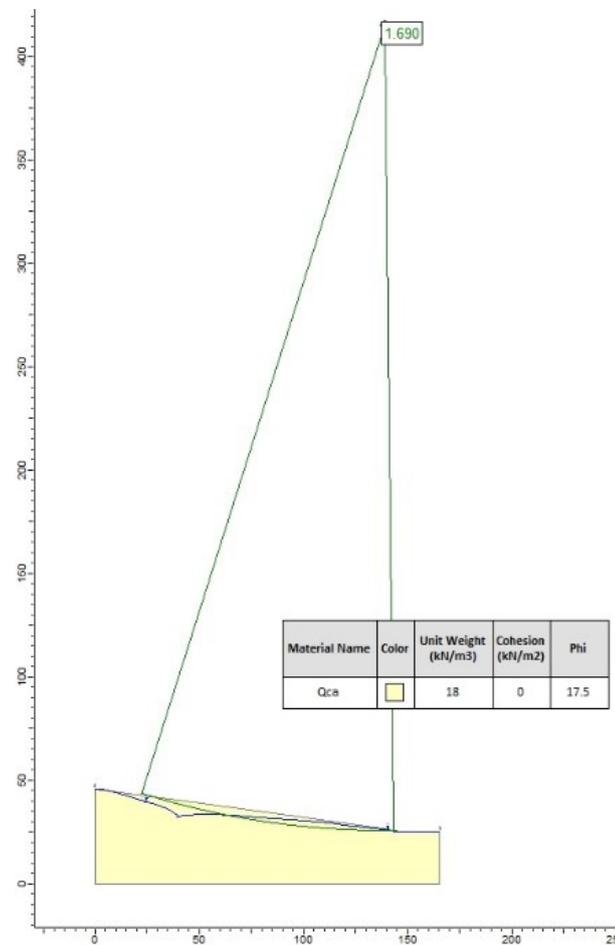


Figura 17\_Analisi di stabilità post operam\_caso statico\_Settore 1.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

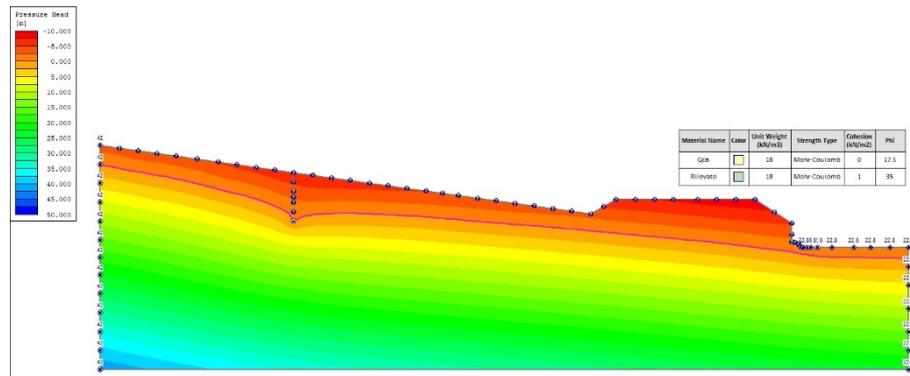


Figura 18. Output analisi di filtrazione\_caso sismico\_Settore 1.

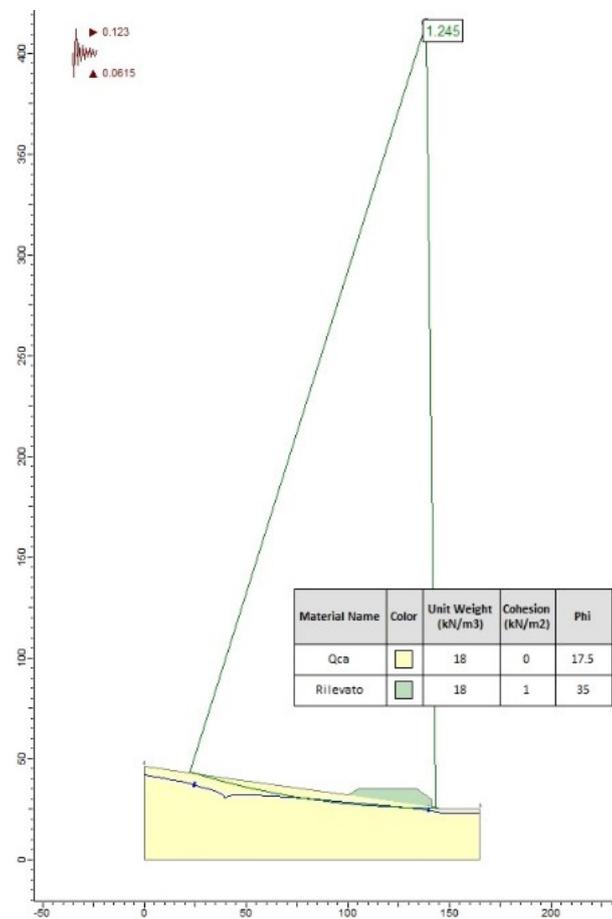


Figura 19\_Analisi di stabilità post operam\_caso sismico\_Settore 1.

**7.4 SEZIONE 6 – SETTORE 3**

Il settore 3, è quasi interamente utilizzato per la coltivazione degli agrumeti, pertanto, l'intervento di stabilizzazione è stato pensato in modo da arrecare il disturbo minimo alla coltivazione e alla sistemazione a banche del versante. Quest'area, considerando appunto la configurazione attuale del pendio, può essere a sua volta suddivisa in sub settori delimitati dalle stradine di collegamento che corrono parallelamente alle linee di massima pendenza del pendio. Nei primi due sub-settori A'''- D''' e D'''- F''' si

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

conferma l'intervento di stabilizzazione costituito da pali gobbi di L=10 m posizionati lungo la strada esistente a monte del corpo di frana. Analogamente al caso precedente, la parete drenante, rispetto al ciglio di monte della frana, ha una distanza variabile; in dettaglio, in questo caso la parete si trova a monte del ciglio di frana, ad una distanza compresa tra 5 e 24 m. L'intervento di stabilità quindi viene studiato su una sezione intermedia a distanza  $d=14$  m a monte del ciglio della frana. Il terzo sub-settore, identificato dalla sezione 7, coinvolge porzioni minori di terreno con spessori ridotti. In tale area sarà realizzata una parete drenante di lunghezza L=5m disposta lungo la curva di livello 136 m slm (tratto G'''- K'''). Quest'ultima avrà una estensione in pianta di circa 45 m.

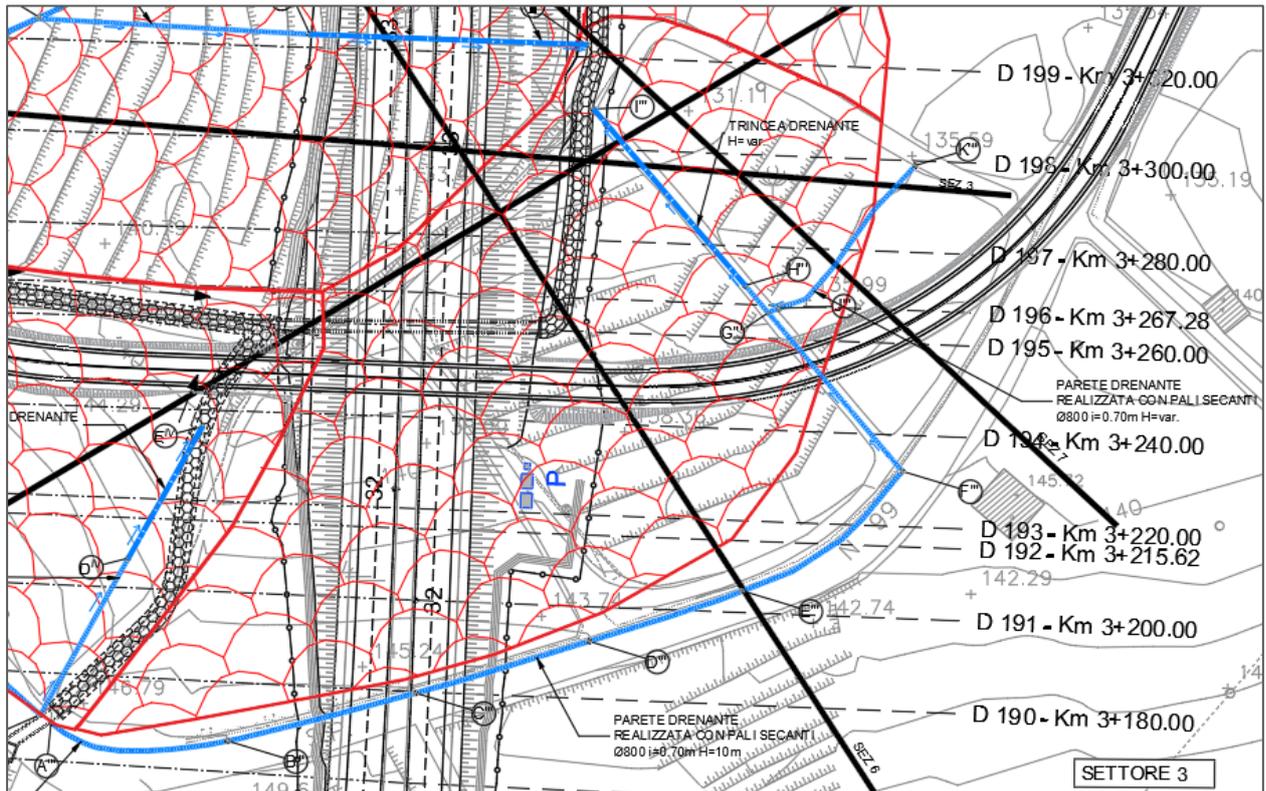


Figura 20. Stralci planimetrico intervento\_settore 3.

Di seguito si riportano gli *output* di calcolo della verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

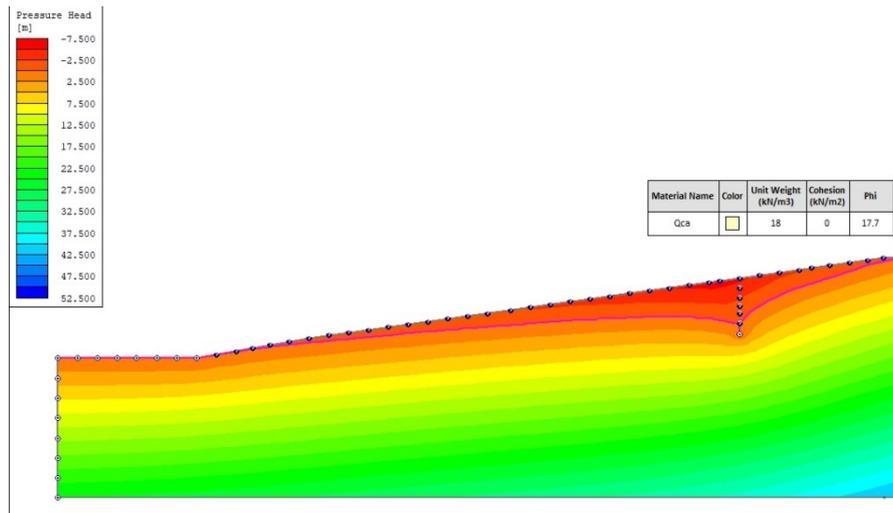


Figura 21. Output analisi di filtrazione\_caso statico\_Settore 3.

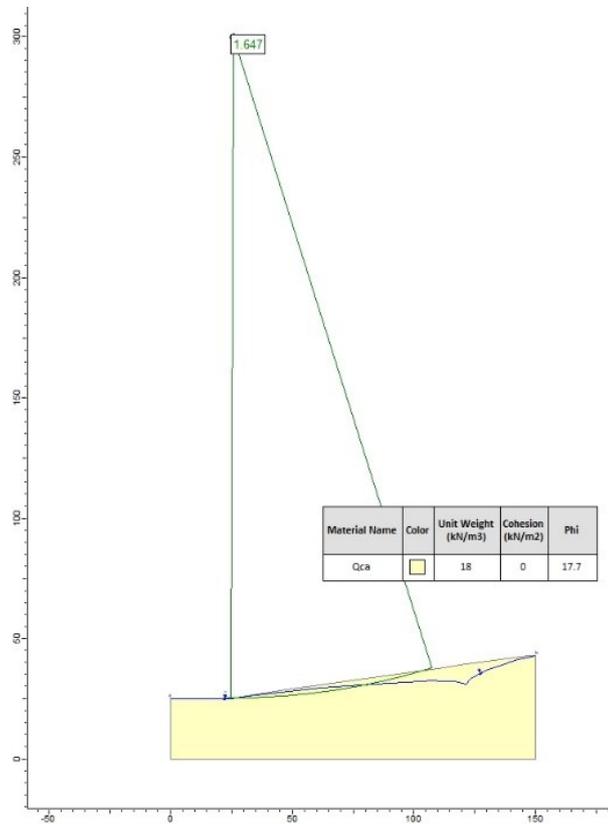


Figura 22. Analisi di stabilità posta operam\_caso statico\_Sezione 3.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

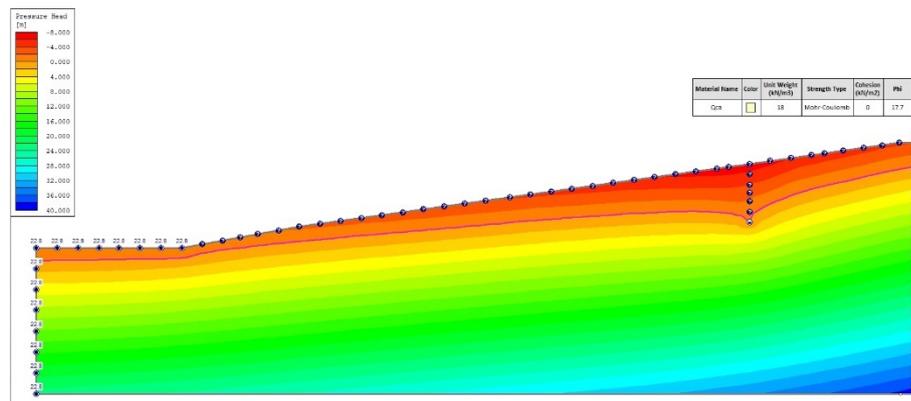


Figura 23. Output analisi di filtrazione\_caso sismico\_Settore 3.

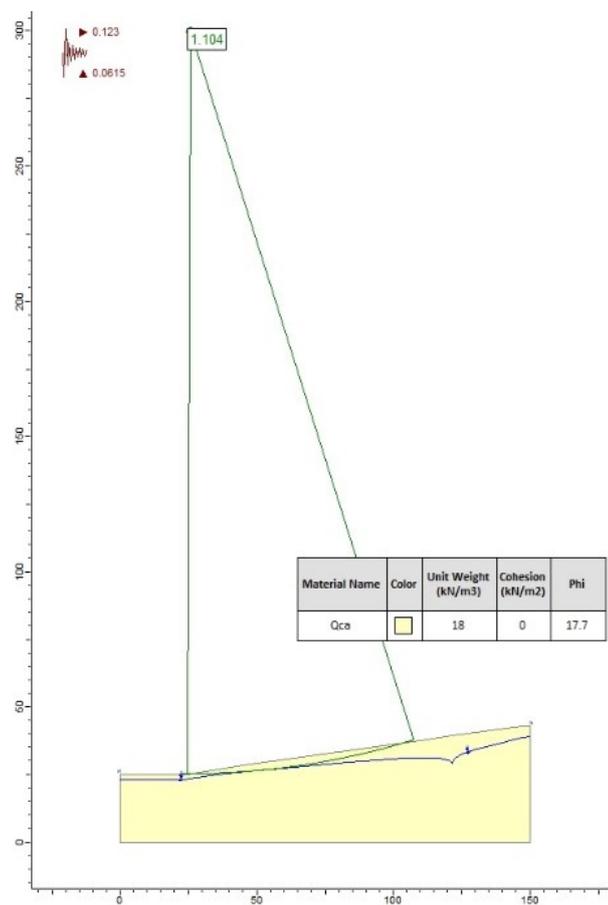


Figura 24. Analisi di stabilità *post operam*\_caso sismico\_Settore 3.

**7.5 SEZIONE 2 –SETTORE 4**

Nel settore 4, viene previsto un unico allineamento costituito da pali gobbi di lunghezza L=10 m, posizionato anch'esso lungo la strada esistente a monte dell'area in oggetto. La strada, quindi la parete drenante, rispetto alla perimetrazione del corpo di frana, si colloca internamente alla superficie di scorrimento sul lato sinistro (per circa metà del tratto A<sup>IV</sup> - B<sup>IV</sup>), mentre si trova sul ciglio di monte sulla destra (circa metà dello sviluppo planimetrico dell'intervento).

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

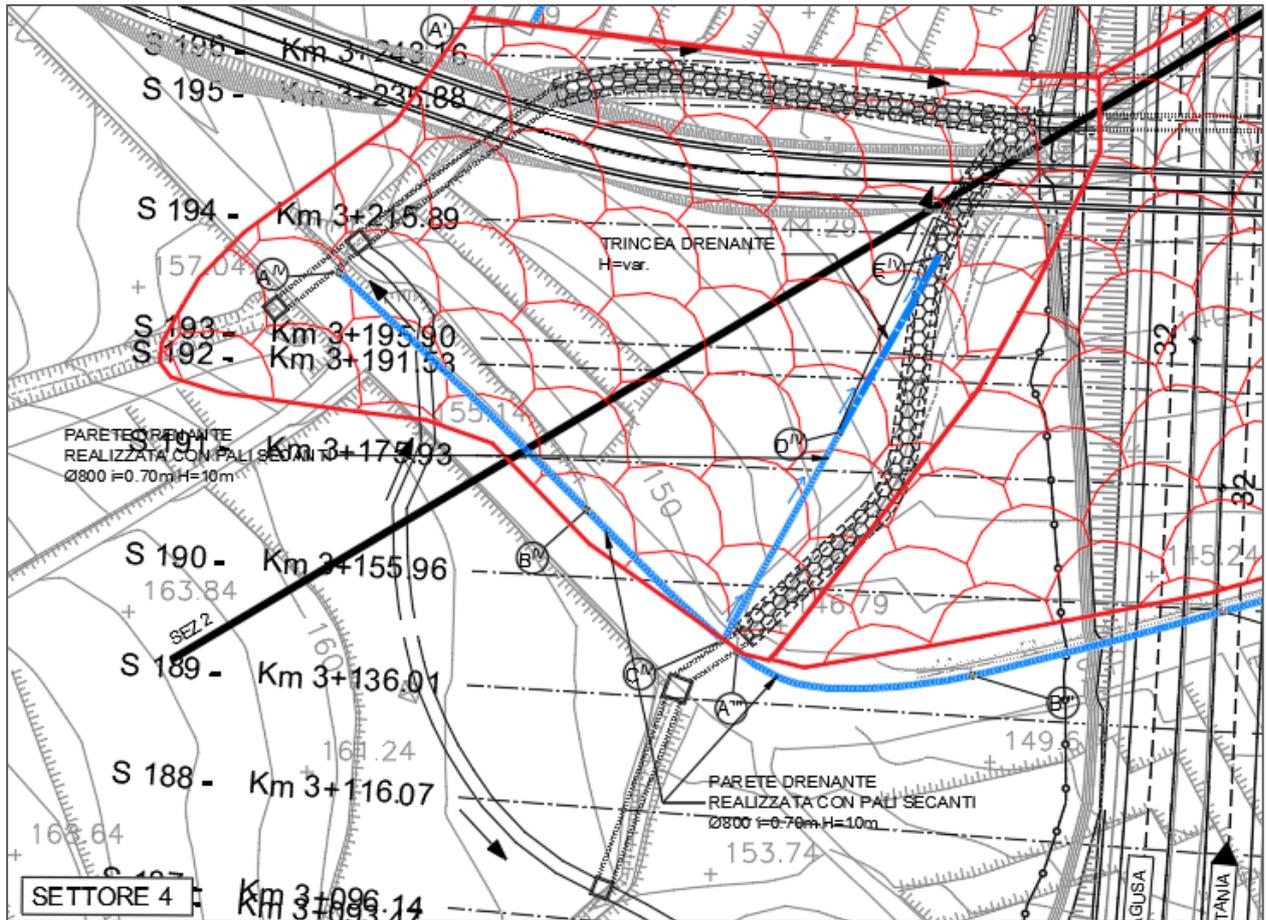


Figura 25. Stralcio planimetrico interventi\_Settore 4.

La verifica di stabilità viene eseguita in corrispondenza della sezione 2 in cui l'effetto della parete drenate, quindi l'abbassamento della pressione interstiziale sulla superficie di scorrimento, è meno favorevole per la stabilità rispetto al caso in cui la parete drenante si trova più internamente alla superficie di scorrimento.

Di seguito si riportano gli *output* di calcolo delle verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche.

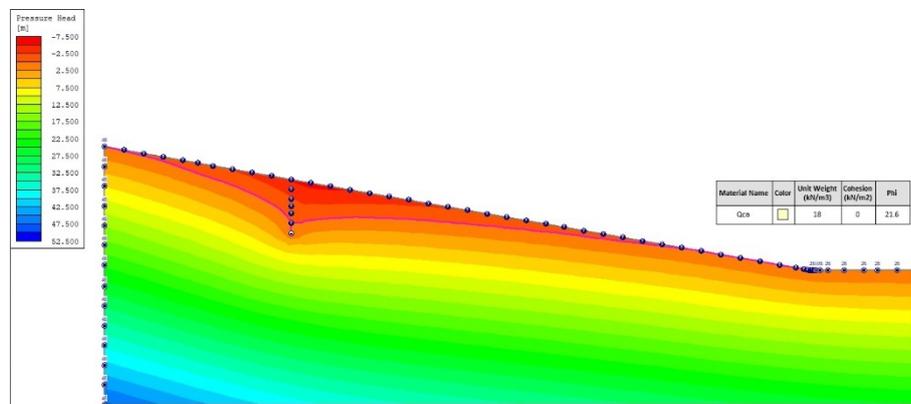


Figura 26. Output analisi di filtrazione\_caso statico\_Settore 4.

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

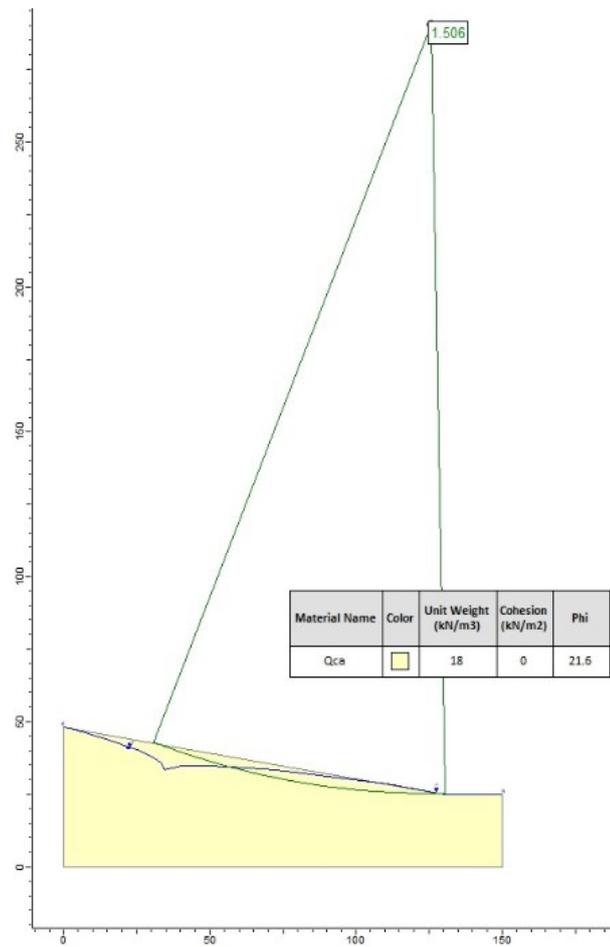


Figura 27. Analisi di stabilità *post operam*\_caso statico\_Settore 4.

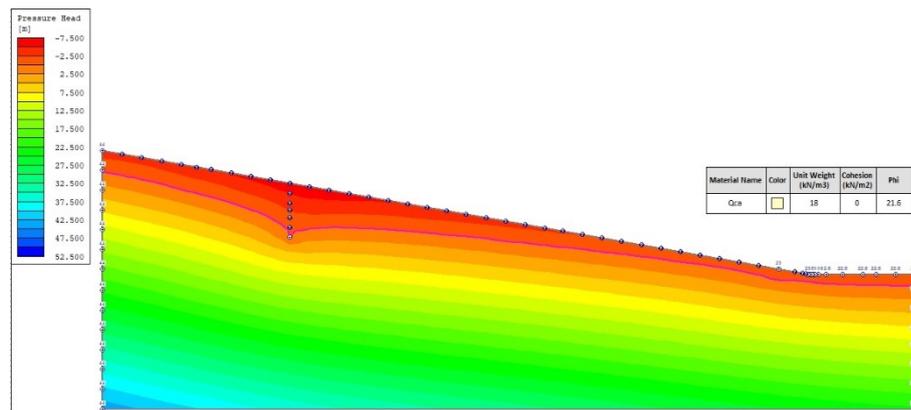


Figura 28. Output analisi di filtrazione\_caso sismico\_Settore 4.

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

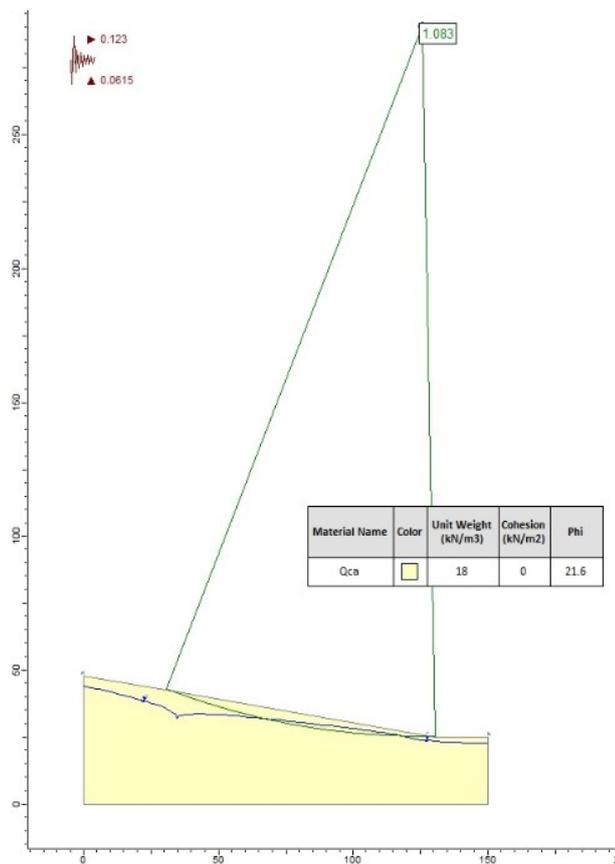


Figura 29. Analisi di stabilità *post operam*\_caso sismica\_Settore 4.

## 7.6 SINTESI DELLE ANALISI DI STABILITÀ

Si riporta una tabella di sintesi dei risultati delle analisi eseguite, riportando il coefficiente di sicurezza, *FS*, ottenuto in condizioni statiche e sismiche.

Tabella 4: *FS* in condizioni statiche e sismiche.

Settore	Sezione	FS statico	FS sismico
1	3	1.69	1.245
3	6	1.647	1.104
4	2	1.506	1.083

## 8 MONITORAGGIO

L'evoluzione degli effetti deformativi e l'efficacia dell'intervento di stabilizzazione sarà monitorato con opportuna strumentazione installata nell'area in esame. In particolare, trattandosi di un dissesto in cui gli interventi di stabilizzazione puntano a gestire e abbattere il regime delle pressioni interstiziali all'interno dell'area in frana, il sistema di monitoraggio sarà costituito oltre al classico rilievo degli spostamenti nel terreno con la profondità, anche dalla misura delle pressioni interstiziali.

In dettaglio, per le indagini di PE è stata prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- N.2 piezometri;
- N.2 inclinometri.

Tale strumentazione continuerà ad essere misurata durante l'esecuzione dei lavori e dopo la messa in esercizio della strada, almeno fintanto che le lavorazioni non comportino la rimozione/seppellimento dello strumento.

Oltre a ciò, si prescrive l'installazione di altri 6 piezometri (3 verticali di monitoraggio con 2 piezometri ciascuna) e 3 inclinometri, in maniera tale da avere nei settori più significativi (settore 1, 3 e 4) una coppia di inclinometro+ doppio piezometro sulla verticale (cfr. Figura 30). La posizione di ciascuna coppia inclinometro-piezometro è tale da ricadere all'incirca nella mezzeria della frana di ciascun settore lungo la linea di massima pendenza della stessa. Ciascun inclinometro avrà lunghezza pari a 15 m. Per i piezometri, nella perforazione verrà inserito un piezometro Casagrande a 15 m di profondità e un piezometro a tubo aperto con tratto sfinestrato compreso tra piano campagna e 5 m (cfr. Figura 31).

Gli strumenti dovranno essere installati prima dell'inizio dei lavori di realizzazione degli interventi di stabilizzazione, con relativa lettura di zero.

Oltre la misura di zero, si richiede l'esecuzione di una misura ogni due settimane per tutto il tempo di realizzazione degli interventi di stabilizzazione e di realizzazione della sede stradale dell'asse principale e della strada secondaria 90. Cadenze maggiori o minori potranno essere stabilite dalla Direzione Lavori sulla base dell'andamento delle misure eseguite in relazioni alle lavorazioni svolte. Terminata la sede stradale, le misure proseguiranno nei 3 anni successivi con cadenza bimensile (6 misure in un anno per ciascuno strumento).

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

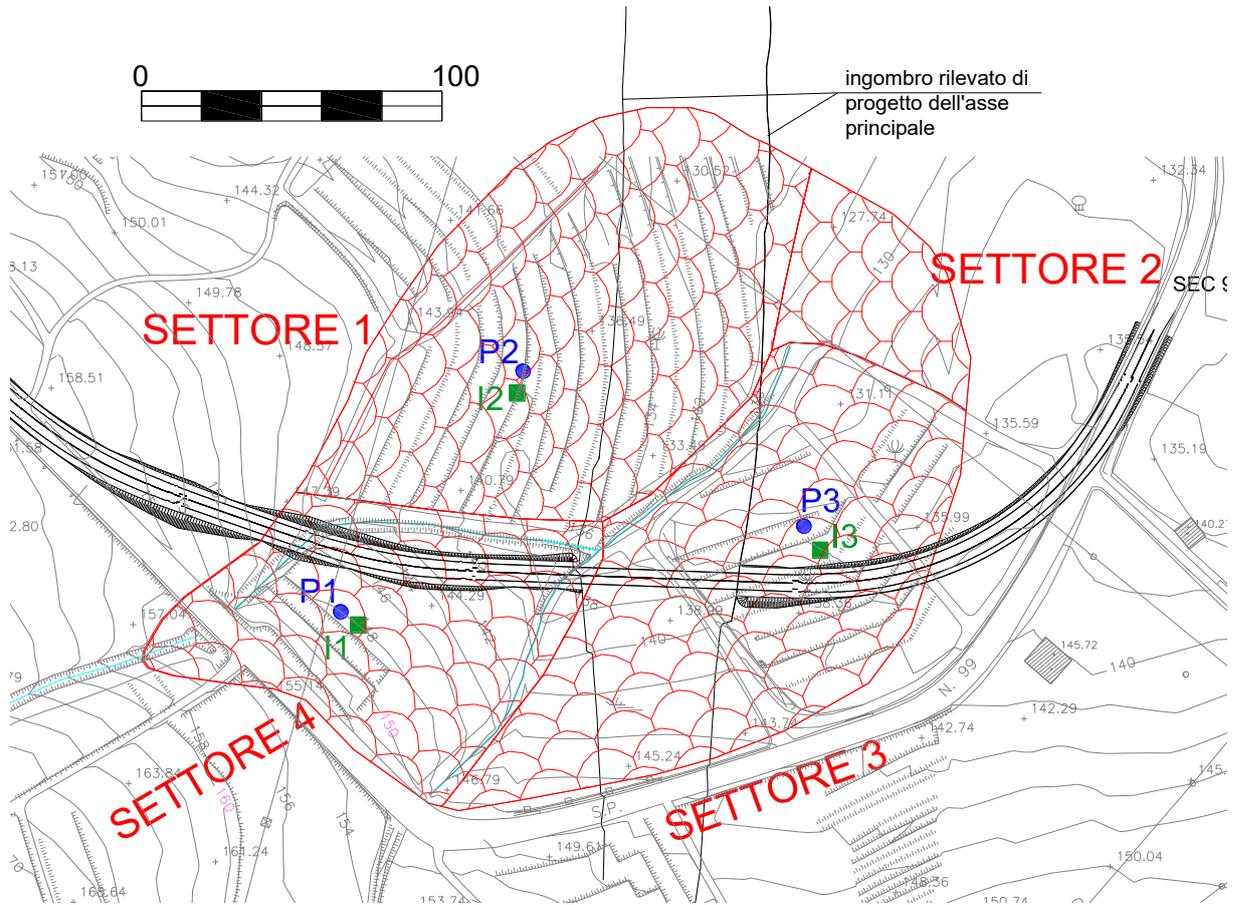


Figura 30. Planimetria con ubicazione della strumentazione di monitoraggio (oltre quella già presente dall'indagine del PE).

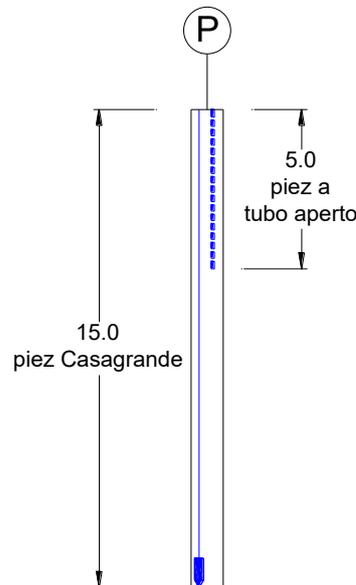


Figura 31. Schema installazione piezometri nella singola verticale.

## 9 APPENDICE

### 9.1 OUTPUT DI CALCOLO - BACK ANALYSIS

- **Settore 1**

*Slide Analysis Information*

*SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

*Project Summary*

---

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

*General Settings*

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

*Analysis Options*

---

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
  
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

*Groundwater Analysis*

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

*Random Numbers*

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

*Surface Options*

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

**Material Properties**

Property	Qca
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	17.5
Water Surface	Water Table
Hu Value	1

**Probabilistic Analysis Input**

**General Settings**

- Sensitivity Analysis: On
- Probabilistic Analysis: Off

**Variables**

Material	Property	Distribution	Mean	Min	Max
Qca	Phi	Normal	17.5	9.5	52.5

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.001500
- Center: 138.601, 415.030
- Radius: 389.943
- Left Slip Surface Endpoint: 22.119, 42.891
- Right Slip Surface Endpoint: 142.993, 25.112
- Left Slope Intercept: 22.119 42.891
- Right Slope Intercept: 142.993 25.113
- Resisting Moment=429012 kN-m
- Driving Moment=428371 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

- Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.0015

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.83497	34.791	Qca	0	17.5	0.940085	0.941495	6.90771	3.92166	2.98605
2	4.83497	101.407	Qca	0	17.5	2.75126	2.75539	20.1697	11.4307	8.73899
3	4.83497	162.125	Qca	0	17.5	4.41636	4.42298	32.3027	18.2748	14.0279
4	4.83497	217.008	Qca	0	17.5	5.93514	5.94404	43.3134	24.4612	18.8522
5	4.83497	266.118	Qca	0	17.5	7.30733	7.31829	53.2075	29.997	23.2105
6	4.83497	309.512	Qca	0	17.5	8.53258	8.54538	61.9908	34.8883	27.1025
7	4.83497	347.242	Qca	0	17.5	9.61049	9.62491	69.6676	39.1413	30.5263
8	4.83497	379.358	Qca	0	17.5	10.5406	10.5564	76.2421	42.7614	33.4807
9	4.83497	405.907	Qca	0	17.5	11.3224	11.3394	81.7179	45.754	35.9639
10	4.83497	426.931	Qca	0	17.5	11.9553	11.9732	86.0978	48.1238	37.974
11	4.83497	442.469	Qca	0	17.5	12.4385	12.4572	89.3846	49.8753	39.5093
12	4.83497	452.559	Qca	0	17.5	12.7715	12.7907	91.5796	51.0127	40.5669
13	4.83497	457.235	Qca	0	17.5	12.9534	12.9728	92.6842	51.5397	41.1445
14	4.83497	456.526	Qca	0	17.5	12.9832	13.0027	92.6992	51.4598	41.2394
15	4.83497	450.462	Qca	0	17.5	12.8602	12.8795	91.6248	50.7763	40.8485
16	4.83497	439.067	Qca	0	17.5	12.5832	12.6021	89.4604	49.4918	39.9686
17	4.83497	422.364	Qca	0	17.5	12.1512	12.1694	86.2055	47.609	38.5965
18	4.83497	400.373	Qca	0	17.5	11.5629	11.5802	81.8581	45.1302	36.7279
19	4.83497	373.111	Qca	0	17.5	10.8172	10.8334	76.4163	42.0573	34.359
20	4.83497	340.594	Qca	0	17.5	9.91257	9.92744	69.8776	38.3919	31.4857
21	4.83497	302.833	Qca	0	17.5	8.8477	8.86097	62.2389	34.1355	28.1034
22	4.83497	259.839	Qca	0	17.5	7.62101	7.63244	53.4962	29.2891	24.2071
23	4.83497	211.618	Qca	0	17.5	6.23085	6.2402	43.6451	23.8537	19.7914
24	4.83497	158.177	Qca	0	17.5	4.67552	4.68253	32.6808	17.8298	14.851
25	4.83497	95.785	Qca	0	17.5	2.70981	2.71387	19.8247	11.2174	8.60726

**List Of Coordinates**

**Water Table**

X	Y
0	46
142.469	25.9772
142.992	25.1136
143.618	25
165	25

**External Boundary**

X	Y
142.993	25.1122
142.469	25.9772
0	46
0	0
165	0
165	25
143.618	25

- **Settore 3**

**Slide Analysis Information**

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

**Project Summary**

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**General Settings**

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

**Analysis Options**

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

**Groundwater Analysis**

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

**Random Numbers**

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

**Material Properties**

Property	Qca
Color	

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	17.7
Water Surface	Water Table
Hu Value	1

**Probabilistic Analysis Input**

**General Settings**

- Sensitivity Analysis: On
- Probabilistic Analysis: Off

**Variables**

Material	Property	Distribution	Mean	Min	Max
Qca	Phi	Normal	17.7	9.7	52.7

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.002170
- Center: 25.770, 299.715
- Radius: 274.717
- Left Slip Surface Endpoint: 24.775, 25.000
- Right Slip Surface Endpoint: 107.472, 37.429
- Resisting Moment=146425 kN-m
- Driving Moment=146107 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

- Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.00217

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	3.30785	40.3348	Qca	0	17.7	1.74369	1.74747	12.1894	6.7139	5.47554
2	3.30785	87.6419	Qca	0	17.7	3.82139	3.82968	26.4398	14.4398	12
3	3.30785	111.291	Qca	0	17.7	4.83403	4.84452	33.516	18.3362	15.1798
4	3.30785	132.565	Qca	0	17.7	5.73622	5.74867	39.8543	21.8414	18.0129

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

5	3.30785	151.463	Qca	0	17.7	6.52907	6.54324	45.4577	24.955	20.5027
6	3.30785	167.98	Qca	0	17.7	7.21365	7.2293	50.3287	27.6763	22.6524
7	3.30785	182.111	Qca	0	17.7	7.79092	7.80783	54.4697	30.0045	24.4652
8	3.30785	193.85	Qca	0	17.7	8.26183	8.27976	57.8827	31.9387	25.944
9	3.30785	203.191	Qca	0	17.7	8.62725	8.64597	60.569	33.4776	27.0914
10	3.30785	210.125	Qca	0	17.7	8.88798	8.90727	62.5301	34.62	27.9101
11	3.30785	214.642	Qca	0	17.7	9.04481	9.06444	63.7671	35.3643	28.4028
12	3.30785	216.734	Qca	0	17.7	9.09845	9.11819	64.28	35.7089	28.5711
13	3.30785	216.387	Qca	0	17.7	9.04954	9.06918	64.0693	35.6518	28.4175
14	3.30785	213.589	Qca	0	17.7	8.89873	8.91804	63.1347	35.1909	27.9438
15	3.30785	208.328	Qca	0	17.7	8.64656	8.66532	61.4761	34.3239	27.1522
16	3.30785	200.586	Qca	0	17.7	8.29357	8.31157	59.092	33.0484	26.0436
17	3.30785	190.348	Qca	0	17.7	7.84024	7.85725	55.9817	31.3617	24.62
18	3.30785	177.597	Qca	0	17.7	7.287	7.30281	52.1434	29.2607	22.8827
19	3.30785	162.312	Qca	0	17.7	6.63424	6.64864	47.5754	26.7424	20.833
20	3.30785	144.474	Qca	0	17.7	5.88234	5.8951	42.2752	23.8034	18.4718
21	3.30785	124.06	Qca	0	17.7	5.03158	5.0425	36.2403	20.4401	15.8002
22	3.30785	101.048	Qca	0	17.7	4.08225	4.09111	29.4678	16.6486	12.8192
23	3.30785	75.411	Qca	0	17.7	3.03459	3.04118	21.954	12.4247	9.52926
24	3.30785	47.1235	Qca	0	17.7	1.88879	1.89289	13.6953	7.76405	5.93122
25	3.30785	16.1568	Qca	0	17.7	0.645017	0.646417	4.68748	2.66199	2.02549

**List Of Coordinates**

**Water Table**

X	Y
0	25
12.5	25
24.7958	25
27.6773	26.2143
147.114	43
150	43

**External Boundary**

X	Y
27.6773	26.2143
24.7958	25
12.5	25
0	25
0	0
147.29	0
150	0
150	43
147.114	43

• **Settore 4**

**Slide Analysis Information**

**SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

**Project Summary**

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**General Settings**

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Qca
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	21.6
Water Surface	Water Table
Hu Value	1

Probabilistic Analysis Input

General Settings

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

- Sensitivity Analysis: On
- Probabilistic Analysis: Off

**Variables**

Material	Property	Distribution	Mean	Min	Max
Qca	Phi	Normal	21.6	13.6	56.6

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 0.999984
- Center: 125.723, 290.499
- Radius: 265.534
- Left Slip Surface Endpoint: 30.547, 42.609
- Right Slip Surface Endpoint: 130.377, 25.006
- Left Slope Intercept: 30.547 42.609
- Right Slope Intercept: 130.377 25.009
- Resisting Moment=270870 kN-m
- Driving Moment=270875 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 0.999984

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	3.99321	28.4776	Qca	0	21.6	1.11875	1.11873	6.71225	3.88667	2.82558
2	3.99321	82.8274	Qca	0	21.6	3.27437	3.27432	19.5744	11.3044	8.27002
3	3.99321	132.011	Qca	0	21.6	5.25122	5.25114	31.28	18.017	13.263
4	3.99321	176.112	Qca	0	21.6	7.04875	7.04864	41.8389	24.0361	17.8028
5	3.99321	215.211	Qca	0	21.6	8.66632	8.66618	51.2606	29.3724	21.8882
6	3.99321	249.382	Qca	0	21.6	10.1032	10.103	59.5535	34.036	25.5175
7	3.99321	278.691	Qca	0	21.6	11.3585	11.3583	66.7242	38.0362	28.688
8	3.99321	303.202	Qca	0	21.6	12.4314	12.4312	72.7791	41.3816	31.3975
9	3.99321	322.974	Qca	0	21.6	13.3207	13.3205	77.7238	44.08	33.6438
10	3.99321	338.059	Qca	0	21.6	14.0253	14.0251	81.5624	46.1389	35.4235
11	3.99321	348.509	Qca	0	21.6	14.5439	14.5437	84.2982	47.565	36.7332
12	3.99321	354.366	Qca	0	21.6	14.8751	14.8749	85.9342	48.3645	37.5697
13	3.99321	355.674	Qca	0	21.6	15.0173	15.0171	86.4719	48.543	37.9289
14	3.99321	352.47	Qca	0	21.6	14.9689	14.9687	85.9123	48.1057	37.8066
15	3.99321	344.787	Qca	0	21.6	14.7279	14.7277	84.255	47.0571	37.1979

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

16	3.99321	332.656	Qca	0	21.6	14.2925	14.2923	81.4999	45.4015	36.0984
17	3.99321	316.105	Qca	0	21.6	13.6605	13.6603	77.6444	43.1425	34.5019
18	3.99321	295.156	Qca	0	21.6	12.8296	12.8294	72.6866	40.2834	32.4032
19	3.99321	269.831	Qca	0	21.6	11.7973	11.7971	66.623	36.827	29.796
20	3.99321	240.147	Qca	0	21.6	10.5609	10.5607	59.4489	32.7757	26.6732
21	3.99321	206.118	Qca	0	21.6	9.1176	9.11745	51.1595	28.1314	23.0281
22	3.99321	167.756	Qca	0	21.6	7.46436	7.46424	41.7482	22.8957	18.8525
23	3.99321	125.069	Qca	0	21.6	5.5979	5.59781	31.2082	17.0697	14.1385
24	3.99321	78.0628	Qca	0	21.6	3.51474	3.51468	19.5312	10.6542	8.87702
25	3.99321	26.7403	Qca	0	21.6	1.21118	1.21116	6.70856	3.64953	3.05903

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0	47.9947
130.36	25.0087
145.028	25.0058
150.035	25.0058

**External Boundary**

X	Y
130.377	25.0058
0	47.9947
0	0
150.035	0
150.035	25.0058
145.028	25.0058

## 9.2 OUTPUT DI CALCOLO –ANALISI DI STABILITÀ POST INTERVENTO

- Settore 1**

**Analisi in condizioni statiche**

*Slide Analysis Information*

*SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

*Project Summary*

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

*General Settings*

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

*Analysis Options*

**Analysis Methods Used**

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Steady State FEA
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Tolerance: 1e-006
- Maximum number of iterations: 500
- Advanced Groundwater Method: None
- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1152
- Number of Nodes: 633

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Qca	Rilevato
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18	18
Cohesion [kPa]	0	1
Friction Angle [deg]	17.5	35
Unsaturated Shear Strength Angle [deg]	0	0
Air Entry Value [kPa]	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 2.515220
- Center: 138.601, 415.030

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

- Radius: 389.943
- Left Slip Surface Endpoint: 22.119, 42.891
- Right Slip Surface Endpoint: 142.993, 25.112
- Resisting Moment=1.22523e+006 kN-m
- Driving Moment=487128 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.51522**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.83497	34.791	Qca	0	17.5	0.868727	2.18504	6.93008	-23.0988	6.93008
2	4.83497	101.407	Qca	0	17.5	2.53644	6.3797	20.2338	-23.7067	20.2338
3	4.83497	162.125	Qca	0	17.5	4.06199	10.2168	32.4033	-27.7773	32.4033
4	4.83497	217.008	Qca	0	17.5	5.44616	13.6983	43.4454	-35.071	43.4454
5	4.83497	266.118	Qca	0	17.5	6.68971	16.8261	53.3656	-35.1575	53.3656
6	4.83497	309.512	Qca	0	17.5	7.79335	19.602	62.1697	-24.3345	62.1697
7	4.83497	347.242	Qca	0	17.5	8.75768	22.0275	69.8622	-12.8833	69.8622
8	4.83497	379.358	Qca	0	17.5	9.58318	24.1038	76.4476	-3.57918	76.4476
9	4.83497	405.907	Qca	0	17.5	9.7869	24.6162	82.0245	3.95187	78.0727
10	4.83497	426.931	Qca	0	17.5	9.58688	24.1131	86.5376	10.0607	76.4769
11	4.83497	442.469	Qca	0	17.5	9.31473	23.4286	89.9224	15.6164	74.306
12	4.83497	452.559	Qca	0	17.5	9.02661	22.7039	92.1751	20.1676	72.0075
13	4.83497	457.235	Qca	0	17.5	8.71236	21.9135	93.3033	23.8026	69.5007
14	4.83497	456.526	Qca	0	17.5	8.35998	21.0272	93.3147	26.6248	66.6899
15	4.83497	450.462	Qca	0	17.5	7.96666	20.0379	92.2136	28.6616	63.552
16	4.83497	439.067	Qca	0	17.5	7.51592	18.9042	90.0058	30.0492	59.9566
17	4.83497	538.673	Qca	0	17.5	9.98994	25.1269	110.468	30.7754	79.6922
18	4.83497	739.718	Qca	0	17.5	15.1996	38.2304	151.747	30.4959	121.251
19	4.83497	776.795	Qca	0	17.5	16.2954	40.9864	159.53	29.5374	129.992
20	4.83497	803.754	Qca	0	17.5	17.2258	43.3266	165.256	27.8413	137.414
21	4.83497	825.469	Qca	0	17.5	18.1151	45.5634	169.922	25.4129	144.509
22	4.83497	841.951	Qca	0	17.5	18.9193	47.5863	173.53	22.6051	150.924
23	4.83497	853.207	Qca	0	17.5	19.6378	49.3935	176.078	19.422	156.656
24	4.83497	733.293	Qca	0	17.5	17.0657	42.924	151.539	15.4016	136.138
25	4.83497	336.589	Qca	0	17.5	7.52813	18.9349	69.6537	9.59976	60.0539

**List Of Coordinates**

**External Boundary**

X	Y
0	0
165	0

**Material Boundary**

X	Y
39.4703	30.4528
39.4703	40.4528

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

165	25
143.618	25
142.993	25.1122
142.469	25.9772
141.075	26.1732
141.075	29.9967
133.568	34.9766
105.278	34.9539
100.081	31.9345
39.4703	40.4528
0	46

Material Boundary

X	Y
100.081	31.9345
141.075	26.1732

## Analisi in condizioni sismiche

### Slide Analysis Information

#### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Steady State FEA
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Tolerance: 1e-006
- Maximum number of iterations: 500
- Advanced Groundwater Method: None
- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1152

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

- Number of Nodes: 633

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.123
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.065

Material Properties

Property	Qca	Rilevato
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18	18
Cohesion [kPa]	0	1
Friction Angle [deg]	17.5	35
Ks [meters/second]	1e-007	1e-007
K2/K1	1	1
K Angle [deg]	0	0
Groundwater Model	Simple	Simple
GW Model Properties	Soil Type: General	Soil Type: General

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0	0
165	0
165	25
143.618	25
142.993	25.1122
142.469	25.9772
141.075	26.1732

Material Boundary

X	Y
39.4703	30.4528
39.4703	40.4528

Material Boundary

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

141.075	29.9967
133.568	34.9766
105.278	34.9539
100.081	31.9345
39.4703	40.4528
0	46

X	Y
100.081	31.9345
141.075	26.1732

- **Settore 3**

### Analisi in condizioni statiche

*Slide Analysis Information*

*SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

**Project Summary**

---

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**General Settings**

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

**Analysis Options**

---

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

**Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Steady State FEA
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Tolerance: 1e-006
- Maximum number of iterations: 500
- Advanced Groundwater Method: None
- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1249
- Number of Nodes: 679

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Qca
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	17.7
Unsaturated Shear Strength Angle [deg]	0
Air Entry Value [kPa]	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.643010
- Center: 25.770, 299.715
- Radius: 274.717
- Left Slip Surface Endpoint: 24.775, 25.000
- Right Slip Surface Endpoint: 107.472, 37.429
- Resisting Moment=238689 kN-m
- Driving Moment=145276 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.64301

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	3.30785	17.362	Qca	0	17.7	0.424927	0.69816	5.24771	3.06009	2.18762
2	3.30785	51.3386	Qca	0	17.7	1.32445	2.17609	15.5011	8.68249	6.81861
3	3.30785	82.9434	Qca	0	17.7	2.28406	3.75274	25.0142	13.2553	11.7589
4	3.30785	112.174	Qca	0	17.7	3.37571	5.54633	33.7814	16.4024	17.379
5	3.30785	139.027	Qca	0	17.7	4.51825	7.42353	41.8008	18.5399	23.2609
6	3.30785	163.5	Qca	0	17.7	5.6392	9.26527	49.0744	20.0424	29.032
7	3.30785	182.095	Qca	0	17.7	6.51597	10.7058	54.5617	21.0162	33.5455
8	3.30785	193.85	Qca	0	17.7	7.03082	11.5517	57.9914	21.7952	36.1962
9	3.30785	203.191	Qca	0	17.7	7.51353	12.3448	60.6815	22.0003	38.6812
10	3.30785	210.125	Qca	0	17.7	7.97189	13.0979	62.6349	21.5937	41.0412
11	3.30785	214.642	Qca	0	17.7	8.35144	13.7215	63.8556	20.8606	42.995
12	3.30785	216.734	Qca	0	17.7	8.67171	14.2477	64.3411	19.6973	44.6438
13	3.30785	216.387	Qca	0	17.7	8.95107	14.7067	64.0872	18.005	46.0822
14	3.30785	213.589	Qca	0	17.7	9.18619	15.093	63.092	15.7996	47.2924
15	3.30785	208.328	Qca	0	17.7	9.37487	15.403	61.3534	13.0894	48.264
16	3.30785	200.586	Qca	0	17.7	9.52337	15.647	58.867	9.83844	49.0286
17	3.30785	190.348	Qca	0	17.7	9.61771	15.802	55.6321	6.11809	49.5141
18	3.30785	177.597	Qca	0	17.7	9.65496	15.8632	51.6462	1.94033	49.7059
19	3.30785	162.312	Qca	0	17.7	9.13287	15.0054	47.0182	-2.92065	47.0182
20	3.30785	144.474	Qca	0	17.7	8.10951	13.324	41.7496	-8.09128	41.7496
21	3.30785	124.06	Qca	0	17.7	6.94676	11.4136	35.7635	-13.5121	35.7635
22	3.30785	101.048	Qca	0	17.7	5.64431	9.27365	29.0582	-20.2222	29.0582
23	3.30785	75.411	Qca	0	17.7	4.2019	6.90377	21.6324	-27.7177	21.6324
24	3.30785	47.1235	Qca	0	17.7	2.6192	4.30337	13.4842	-35.4192	13.4842
25	3.30785	16.1568	Qca	0	17.7	0.895771	1.47176	4.61163	-44.1796	4.61163

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
5.68e-014	0
147.29	0
150	0
150	43
147.114	43
121.573	39.4105
112.471	38.1313
44.8311	28.6251
24.7958	25
0	25

Material Boundary

X	Y
121.573	29.4105
121.573	39.4105

Analisi in condizioni statiche

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

MANDATARIA:

MANDANTI:

---

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**General Settings**

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

**Analysis Options**

---

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
  
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

**Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Steady State FEA
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Tolerance: 1e-006
- Maximum number of iterations: 500
- Advanced Groundwater Method: None
- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1249
- Number of Nodes: 679

**Random Numbers**

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

**Loading**

---

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.123
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.0615

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

**Material Properties**

Property	Qca
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	17.7
Unsaturated Shear Strength Angle [deg]	0
Air Entry Value [kPa]	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.102290
- Center: 25.770, 299.715
- Radius: 274.717
- Left Slip Surface Endpoint: 24.775, 25.000
- Right Slip Surface Endpoint: 107.472, 37.429
- Resisting Moment=284289 kN-m
- Driving Moment=257908 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10229

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	3.30785	17.362	Qca	0	17.7	1.42519	1.57097	4.92248	-15.4841	4.92248
2	3.30785	51.3386	Qca	0	17.7	4.19951	4.62908	14.5048	-6.82842	14.5048
3	3.30785	82.9434	Qca	0	17.7	6.76122	7.45282	23.3528	-2.9438	23.3528
4	3.30785	112.174	Qca	0	17.7	9.1123	10.0444	31.4732	-0.122164	31.4732
5	3.30785	139.027	Qca	0	17.7	10.6523	11.7419	38.9032	2.11092	36.7923
6	3.30785	163.5	Qca	0	17.7	12.1186	13.3582	45.6249	3.76808	41.8568
7	3.30785	182.095	Qca	0	17.7	13.3332	14.6971	50.6616	4.6096	46.052
8	3.30785	193.85	Qca	0	17.7	14.1475	15.5947	53.763	4.8983	48.8647
9	3.30785	203.191	Qca	0	17.7	14.8428	16.3611	56.1705	4.90432	51.2662
10	3.30785	210.125	Qca	0	17.7	15.4231	17.0007	57.8905	4.62033	53.2702
11	3.30785	214.642	Qca	0	17.7	16.0218	17.6607	58.9073	3.56917	55.3381
12	3.30785	216.734	Qca	0	17.7	16.5583	18.252	59.2287	2.03778	57.1909
13	3.30785	216.387	Qca	0	17.7	16.9785	18.7152	58.8617	0.218984	58.6427
14	3.30785	213.589	Qca	0	17.7	16.7607	18.4752	57.8903	-1.90996	57.8903

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

15	3.30785	208.328	Qca	0	17.7	16.2911	17.9575	56.268	-4.46739	56.268
16	3.30785	200.586	Qca	0	17.7	15.631	17.2299	53.9884	-7.35295	53.9884
17	3.30785	190.348	Qca	0	17.7	14.7814	16.2934	51.0538	-10.6086	51.0538
18	3.30785	177.597	Qca	0	17.7	13.7428	15.1485	47.4666	-13.9777	47.4666
19	3.30785	162.312	Qca	0	17.7	12.5158	13.796	43.2285	-18.177	43.2285
20	3.30785	144.474	Qca	0	17.7	11.1009	12.2364	38.3417	-23.4694	38.3417
21	3.30785	124.06	Qca	0	17.7	9.49841	10.47	32.8069	-29.3298	32.8069
22	3.30785	101.048	Qca	0	17.7	7.70883	8.49737	26.6258	-35.1526	26.6258
23	3.30785	75.411	Qca	0	17.7	5.73231	6.31867	19.799	-41.6571	19.799
24	3.30785	47.1235	Qca	0	17.7	3.56907	3.93415	12.3273	-49.271	12.3273
25	3.30785	16.1568	Qca	0	17.7	1.21923	1.34394	4.21113	-57.7266	4.21113

**List Of Coordinates**

**External Boundary**

X	Y
5.68e-014	0
147.29	0
150	0
150	43
147.114	43
121.573	39.4105
112.471	38.1313
44.8311	28.6251
24.7958	25
0	25

**Material Boundary**

X	Y
121.573	29.4105
121.573	39.4105

• **Settore 4**

**Analisi in condizioni statiche**

*Slide Analysis Information*

*SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

**Project Summary**

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**General Settings**

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

**Analysis Options**

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

**Groundwater Analysis**

- Groundwater Method: Steady State FEA
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Tolerance: 1e-006
- Maximum number of iterations: 500
- Advanced Groundwater Method: None
- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1493
- Number of Nodes: 803

**Random Numbers**

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

**Material Properties**

Property	Qca
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	21.6
Unsaturated Shear Strength Angle [deg]	0
Air Entry Value [kPa]	0

**Global Minimums**

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.535450
- Center: 125.723, 290.499
- Radius: 265.534
- Left Slip Surface Endpoint: 30.547, 42.609
- Right Slip Surface Endpoint: 130.377, 25.006
- Resisting Moment=415914 kN-m
- Driving Moment=270875 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53545**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	3.99321	28.4776	Qca	0	21.6	1.67696	2.57489	6.50345	-42.61	6.50345
2	3.99321	82.8274	Qca	0	21.6	4.89837	7.5212	18.9964	-46.4821	18.9964
3	3.99321	132.011	Qca	0	21.6	7.84005	12.038	30.4045	-40.9427	30.4045
4	3.99321	176.112	Qca	0	21.6	10.5029	16.1267	40.7316	-28.4615	40.7316
5	3.99321	215.211	Qca	0	21.6	12.8878	19.7886	49.9802	-16.3804	49.9802
6	3.99321	249.382	Qca	0	21.6	14.9951	23.0243	58.1527	-6.10241	58.1527
7	3.99321	278.691	Qca	0	21.6	16.1209	24.7529	65.4407	2.92215	62.5186
8	3.99321	303.202	Qca	0	21.6	15.8503	24.3374	71.9151	10.4461	61.469
9	3.99321	322.974	Qca	0	21.6	15.6047	23.9603	77.1848	16.6678	60.517
10	3.99321	338.059	Qca	0	21.6	15.2558	23.4245	81.2926	22.1291	59.1635
11	3.99321	348.509	Qca	0	21.6	14.8581	22.8138	84.2358	26.6147	57.6211
12	3.99321	354.366	Qca	0	21.6	14.3938	22.101	86.0267	30.206	55.8207
13	3.99321	355.674	Qca	0	21.6	13.8442	21.2571	86.6762	32.9871	53.6891
14	3.99321	352.47	Qca	0	21.6	13.2055	20.2764	86.1909	34.9786	51.2123
15	3.99321	344.787	Qca	0	21.6	12.5228	19.2282	84.5689	36.0039	48.565
16	3.99321	332.656	Qca	0	21.6	11.7324	18.0145	81.8241	36.3248	45.4993
17	3.99321	316.105	Qca	0	21.6	10.7862	16.5617	77.9643	36.1343	41.83
18	3.99321	295.156	Qca	0	21.6	9.70224	14.8973	72.9865	35.3602	37.6263
19	3.99321	269.831	Qca	0	21.6	8.51998	13.082	66.8871	33.8459	33.0412
20	3.99321	240.147	Qca	0	21.6	7.28243	11.1818	59.6633	31.4215	28.2418
21	3.99321	206.118	Qca	0	21.6	6.0645	9.31173	51.3128	27.7942	23.5186
22	3.99321	167.756	Qca	0	21.6	4.83577	7.42509	41.8405	23.087	18.7535
23	3.99321	125.069	Qca	0	21.6	3.52789	5.4169	31.2498	17.5682	13.6816
24	3.99321	78.0628	Qca	0	21.6	2.12695	3.26583	19.5382	11.2897	8.2485
25	3.99321	26.7401	Qca	0	21.6	0.665108	1.02124	6.70305	4.12367	2.57938

**List Of Coordinates**

**External Boundary**

**Material Boundary**

**RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4**

X	Y
130.689	24.9883
130.377	25.0058
34.5465	41.9032
0	47.9947
0	0
150.035	0
150	24.997

X	Y
34.5465	31.9032
34.5465	41.9032

**Analisi in condizioni sismiche**

*Slide Analysis Information*

*SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

**Project Summary**

- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**General Settings**

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

**Analysis Options**

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

**Groundwater Analysis**

- Groundwater Method: Steady State FEA
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Tolerance: 1e-006
- Maximum number of iterations: 500
- Advanced Groundwater Method: None
- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1493
- Number of Nodes: 803

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.123
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.0615

Material Properties

Property	Qca
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	21.6
Unsaturated Shear Strength Angle [deg]	0
Air Entry Value [kPa]	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.085890
- Center: 125.723, 290.499
- Radius: 265.534
- Left Slip Surface Endpoint: 30.547, 42.609
- Right Slip Surface Endpoint: 130.377, 25.006
- Resisting Moment=481241 kN-m
- Driving Moment=443178 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1
- Number of Invalid Surfaces: 0

RELAZIONE INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE\_LOTTO 4

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.08589

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	3.99321	28.4776	Qca	0	21.6	2.14696	2.33136	5.88834	-60.5972	5.88834
2	3.99321	82.8274	Qca	0	21.6	6.28103	6.82051	17.2266	-58.2247	17.2266
3	3.99321	132.011	Qca	0	21.6	10.0687	10.9335	27.6148	-50.7039	27.6148
4	3.99321	176.112	Qca	0	21.6	13.5094	14.6697	37.0515	-39.51	37.0515
5	3.99321	215.211	Qca	0	21.6	16.6024	18.0284	45.5345	-28.1939	45.5345
6	3.99321	249.382	Qca	0	21.6	19.3467	21.0084	53.0611	-18.5624	53.0611
7	3.99321	278.691	Qca	0	21.6	21.7412	23.6086	59.6284	-11.2181	59.6284
8	3.99321	303.202	Qca	0	21.6	23.7845	25.8274	65.2324	-4.69809	65.2324
9	3.99321	322.974	Qca	0	21.6	24.9895	27.1359	69.9842	1.4468	68.5374
10	3.99321	338.059	Qca	0	21.6	24.6361	26.7521	74.0133	6.44516	67.5681
11	3.99321	348.509	Qca	0	21.6	24.1903	26.268	76.9564	10.611	66.3454
12	3.99321	354.366	Qca	0	21.6	23.7418	25.781	78.8028	13.6876	65.1152
13	3.99321	355.674	Qca	0	21.6	23.0266	25.0044	79.6088	16.4547	63.1541
14	3.99321	352.47	Qca	0	21.6	22.2057	24.1129	79.3453	18.4429	60.9024
15	3.99321	344.787	Qca	0	21.6	21.2252	23.0482	78.0239	19.8106	58.2133
16	3.99321	332.656	Qca	0	21.6	20.1353	21.8647	75.6384	20.4146	55.2238
17	3.99321	316.105	Qca	0	21.6	18.8923	20.515	72.1956	20.3806	51.815
18	3.99321	295.156	Qca	0	21.6	17.5798	19.0897	67.6864	19.4712	48.2152
19	3.99321	269.831	Qca	0	21.6	16.2535	17.6495	62.1087	17.5311	44.5776
20	3.99321	240.147	Qca	0	21.6	14.7685	16.037	55.4756	14.9707	40.5049
21	3.99321	206.118	Qca	0	21.6	13.214	14.3489	47.7793	11.5382	36.2411
22	3.99321	167.756	Qca	0	21.6	11.6856	12.6893	39.0162	6.96686	32.0494
23	3.99321	125.069	Qca	0	21.6	10.6229	11.5353	29.1812	0.0463	29.1349
24	3.99321	78.0628	Qca	0	21.6	6.67715	7.25065	18.313	-14.2741	18.313
25	3.99321	26.7401	Qca	0	21.6	2.29981	2.49734	6.30757	-12.3735	6.30757

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
130.689	24.9883
130.377	25.0058
34.5465	41.9032
0	47.9947
0	0
150.035	0
150	24.997

Material Boundary

X	Y
34.5465	31.9032
34.5465	41.9032